الذكاء الاصطناعي

ومدخل الى لغة ليسب

LISP

اعداد

المهندس أسامة الحسيني

دار الراتب الجامعية

الباب اول

ما هو
الذكاء الاصطناعي
؟



الميزانية» فسوف نتحقق تماماً من أن سرعة الكومبيوتر في أداء العمليات الحسابية لا تقارن بسرعة الإنسان المتواضعة.

ولعلنا نعرف جميعاً أن الهدف الأول من إبتكار أجهزة الكومبيوتر هو إجراء العمليات الحسابية.

تخزين البيانات

تقوم شركات التليفونات بتخزين أسماء المشتركين ومتابعة حساباتهم بالاستعانة بالكومبيوتر، كذلك تفعل كل الشركات التي تتعامل مع قطاعات عريضة من الناس مثل الشركات والبنوك والمحلات التجارية الكبيرة. وبفضل الكومبيوتر يمكن التعامل مع أحجام كبيرة من البيانات كما يمكن إستخراج البيان من «الملفّات» بسرعة.

فإذا جئنا إلى المقارنة بين قدرات الإنسان والكومبيوتر، فلا يمكن أن نتصور أن موظفاً بشركة التليفونات يستطيع حفظ كل هذه البيانات التي تتعامل فيها الشركة في رأسه.

وحتى قبل إبتكار أجهزة الكومبيوتر، كان لا بد من حفظ المعلومات في ملفات ورقية لأن ذاكرة الإنسان محدودة الإمكانات.

العمليات المتكررة

لا يشعر الكومبيوتر بالملل من أداء نفس العمل آلاف المرات. ولو أنك أمرت الكومبيوتر أن يطبع ألف نسخة من تقرير ما فإنه سيطبع النسخ جميعها بنفس الجودة. بينما لو قام إنسان بهذا العمل فإن النسخ الأولى عادة تبدأ جيدة ثم يزحف الملل فتقل جودة العمل ثم يتغلب عليه التعب فيبدأ في البحث عن فنجان من القهوة أو شيء يُجدّد به نشاطه!

ومن الأعمال التي يشقّ على الإنسان أداؤها عمليات التجميع الصناعي مثل تجميع السيارات لم يتسم به العمل من التفاهـة والتكرار كـربط مسمار معيّن في صامولة معينة لكل سيارة تمر أمام العامل في خط التجميع. لذلك كان هذا العمل من أهم إستخدامات «الروبوط».

ولو أعدنا النظر إلى نوعية الأعمـال التي يتفوق فيهـا الكومبيـوتر على الإنسان لوجدناهـا أعمالاً ذات طبيعة ميكانيكية خالية من التفكير أو الإبداع.

(١ - ١ - ٢) فيم يتفوق الإنسان على الكومبيوتر؟

عندما كان الكومبيوتر حديث العهد، وكانت دراسة «برمجة الكومبيوتر» شيئاً جديداً، كان بعض الدارسين ينتظرون من الكومبيوتر أن يستنتج شيئاً أو يعرف شيئاً بالبداهة لكنهم كانوا يصطدمون دائماً بحقيقة أن المبرمج يجب أن يذكر للكومبيوتر كلّ تفصيلات العمل، تماماً كما حدث مع صديقنا الذي أراد من الكوميوتر أن يرسم رجلاً بالأمر «DRAW A MAN»! لذلك كان أساتذتنا في ذلك الوقت يرددون على مسامعنا مقولة شهيرة بأن **الكومبيوتر غبي**»!

وهذا حق. . .

فالفارق الرئيسي بين الإنسان والماكينة هو نعمة الذكاء.

فالإنسان يفكـر ويستنتج ويصـل إلى بعض الحقائق **بـالبداهـة** ويفهم أفكاراً جديدة من **سياق الكلام** والتعبيرات **المجـازيّة**. وإذا شـاهد الإنسـان مشهداً أو سمع صوتاً فإنه يستطيع **الربط** بين المعلومات الآتية إليه من حواسه وبين **الخبرات السابقة** للخروج بنتائج ذات معنى.

معنى ذلـك أن الهدف من أبحـاث الـذكـاء الاصـطنـاعي هـو جعـل الكومبيوتر أكثر ذكاء أو منحه صفة الذكاء.

وهذا يقودنا إلى التعريف الثاني للذكاء الاصطناعي الذي قدّمه كل من «أڤرون بار» و«إدوارد فيجنبوم» في كتابهما:

«The handbook of artificial intelligence»

ويقول التعريف:

«الـذكاء الاصطنـاعي هو جـزء من علم الكومبيـوتر يهـدف إلى تصميم أنظمـة كـومبيـوتـر ذكيّـة، بمعنى أنهـا تعطي نفس الخصائص التي نعرّفها بالذكاء في السلوك الإنساني».أ

وهـذا يقودنـا إلى تساؤل جـديد.. عن الـذكـاء في السلوك الإنساني أو الذكاء الإنساني. لعلّنا كبشر نفهم معنى كلمة «الذكاء» باستخدام «البداهـة» أو خاصيـة «الذكـاء» نفسها!

أما وضع كلمة «الذكاء» نفسها على مـائدة التشـريح بهدف تعريفها بألفاظ محددة فهذا شيء محيّر. لأن الـذكاء نفسه لغز من الألغاز.

(١ - ٢) تعريف الذكاء الإنساني

رغم أن العلماء قد عجزوا عن الاتفاق على تعريف محدد للذكاء الإنساني لكنهم إستطاعوا أن يصفوا بعض القدرات الإنسانية بأنها مرتبطة بالذكاء. وبعض هذه القدرات هي:

الاستجابة المرنة للمواقف المختلفة:

ليس بالضرورة أن يستجيب الإنسان بنفس الطريقة كلما تعرض لموقف مماثل.

وهذا هو الفرق بين «التصرف المرن» والتصرف «الميكانيكي» أو التلقائي.

الخروج بمعنى من سياق الكلام:

لو أنك قابلت أجنبياً يتحدث بركاكة فإنك تستطيع إستنتاج ما يريد التعبير عنه مهما كانت تعبيراته غامضة أو مهما أستخدم ألفاظاً في غير مواضعها.

ليس هذا هو الحال إذ أنت أخطأت في حرف واحد وأنت تدخل للكومبيوتر أحد البيانات، فهو لن يفهم ولن يستنتج لأنه لا يعرف أصلاً موضوع البرنامج الذي يقوم بتنفيذه!

تقدير الأهمية النسبية لعناصر موقف معيّن :

منذ الصباح الباكر والإنسان يتعرض لكمية هائلة من المعلومات سواء وهو يتصفح الجريدة أو يستمع إلى الراديـو أو يشاهـد التليفزيـون أو يراجـع الأوراق التي تتكدس على مكتبـه كل يوم .

والإنسان عادة لا يمنح كل هذه المعلومات نفس درجـة الاهتمام فهـو يمنح كل معلومة درجة معينة من الانتباه بحسب أهميتها الخاصة له ، ومن هذه الدرجات النسبية لأهمية المعلومات يتكون «العالم» الخاص بالانسان .

فالطبيب في عيادته يسأل المرضى ويستمع لهم ، والمريض يسترسل ، أما الطبيب فهو يفرز مـا يلقي إليه المـريض من معلومات وقـد تزداد أهميـة معلومة معينة فيبدأ في الاستقصاء عنها ، وقد يبدأ المريض في الثرثرة حـول نقطة يحس الطبيب بعدم أهميتها فيقابلها بفتـور زائد أو يحثـه على الانتقال لنقطة أخرى .

القدرة على إستنتاج أوجه التشابه بين المواقف المختلفة :

ولا يشتـرط بالضـرورة أن تكون المـواقف نفسها متشـابهـة بـل لعـل المواقف تكون مختلفة تماماً لكن هناك جوانب للتشابه يمكن للإنسان الذكي إستخلاصها والاستفادة بها في التخطيط للمستقبل .

وفي الكليات والمعاهد العسكرية دائماً تدرس مادة التاريخ العسكري الـذي يحكي عن المواقـع الحربيـة وتفصيلاتهـا بهدف الخـروج «بـدروس مستفادة» . فالمعارك لا تتشابـه سواء في الـظروف أو الأرض أو التكنولـوجيا المستخدمة أو الخطط الحربية ، ولكن هناك أوجهاً للتشابه بين بعض المعارك وبعضها أو بين بعضها وبين ما قد يجد من معارك . وقد نعبر عن هذه القدرة بتعريف آخر هو «القدرة على الانتقال من **التخصيص إلى التعميم**» .

القدرة على إستنتاج أوجه الاختلاف بين المواقف المتماثلة:

إذا ذهب مريضان إلى نفس الطبيب وكان كل منهما يشكو من ألم حاد في الجانب الأيمن. فإنهما قد يخرجان من عند الطبيب وكل منهما يحمل «روشته» علاج مختلفة تماماً. . . أو لعل طريقهما يختلف فيعود أحدهما لداره ليتناول بعض المسكِّنات والآخر يتوجه إلى المستشفى لإجراء عملية جراحية عاجلة.

بالنسبة لمن لا يعرف يقول أن المرض واحد لأن الأعراض متماثلة، ولكن الطبيب يستطيع إستنباط أوجه الاختلاف بين الحالتين حتى يصل إلى أن أحدهما مريض بالكلية اليمنى والآخر مصاب بالتهاب الزائدة الدودية! مثلاً!

وما ينطبق على تشخيص الأمراض ينطبق على سائر مواقف الحياة السياسية والاقتصادية والشخصية. وهناك تعبير آخر لوصف هذه المقدرة وهو «القدرة على الانتقال من **التعميم** إلى **التخصيص**».

وبعد. . .

هل من الممكن تمثيل أو محاكاة هذه الصفات الإنسانية بالكومبيوتر؟

في الحقيقة أن أحد العناصر المشتركة بين هذه الصفات هي «**البداهة**» أو «**الفراسة**» وهي صفة يصعب تقنينها. فمن السهل أن ننقل إلى الكومبيوتر خبرة أحد المحاسبين، لأن عمل المحاسب يتضمن عمليات حسابية محددة يمكن تقنينها وشرحها للآخرين وهذا يؤهلها للأداء بالكومبيوتر

أما العمليات التي تعتمد على البداهة مثل «إتخاذ القرارات» فمن الصعب وضع قوانين حاكمة لها وبالتالي يصعب برمجتها. ولو أنك سألت شخصاً ذا درجة عالية من الفراسة «كيف اتخذت هذا القرار؟» فإنه ربما لا

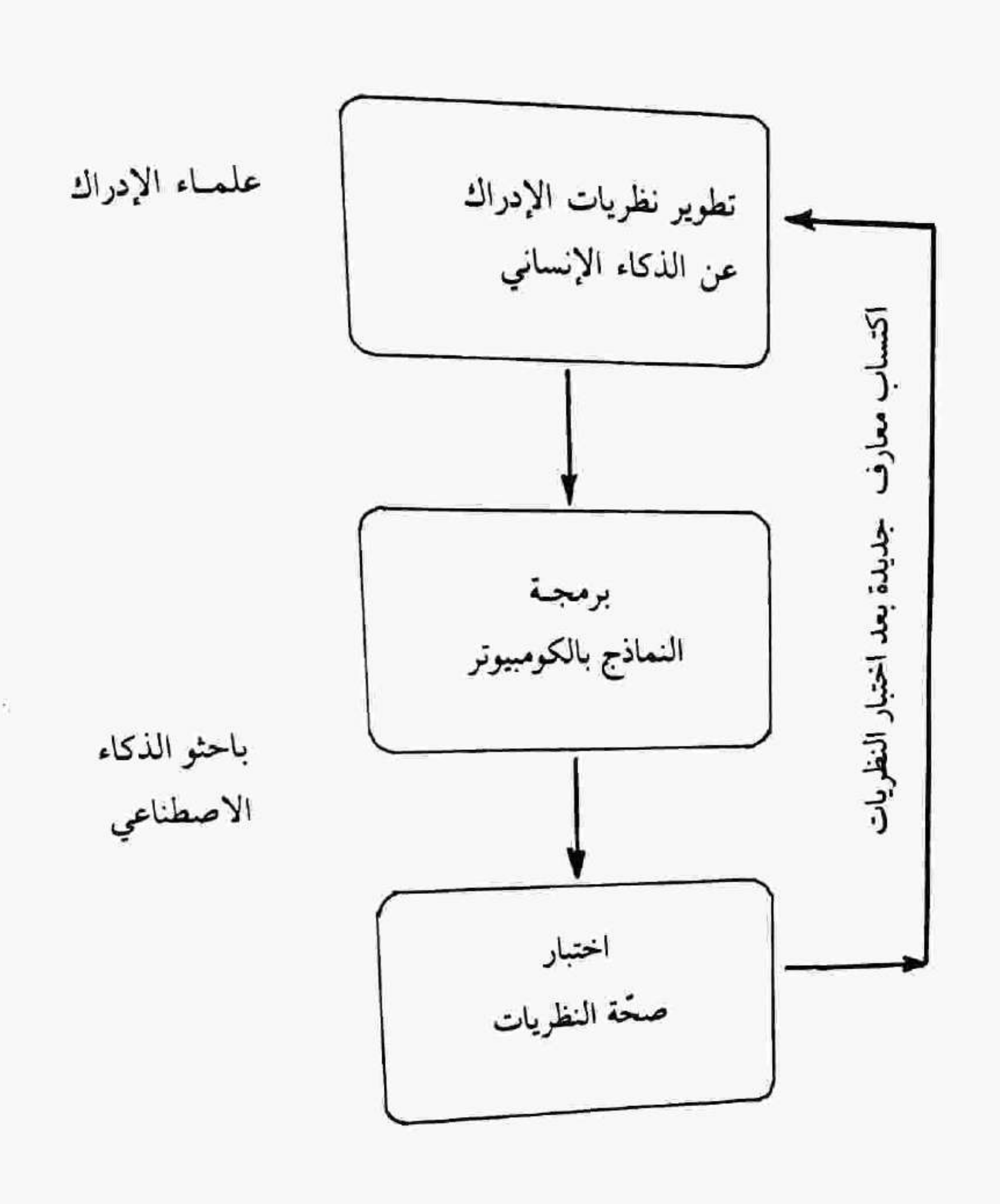
يعرف على وجه الدقة العمليات الذهنية المختلفة التي أدت إلى وصوله إلى ذلك القرار السليم. وصعوبة تقنين هذه العمليات الذهنية لا يعني الاستحالة فهذه العمليّات هي مجال «**علم الإدراك**» (**cognetive science**) الذي يشغل الباحثين منذ وقت طويل. والباحثون في هذا المجال لهم فضل كبير في معاونة الباحثين في مجال الذكاء الاصطناعي الذين يقومون بمحاكاة الذكاء الإنساني على الكومبيوتر.

(١ ـ ٣) محاكاة الذكاء الإنساني

يقوم علماء «الإدراك» بتحديد ووصف العمليات المختلفة التي يصدر عنها «الذكاء» الإنساني في موقف معيّن. ثم يقوم باحثو الذكاء الاصطناعي ببرمجة هذه العمليات على الكمبيوتر باستخدام التمثيل أو المحاكاة (simulation) بهدف خلق نموذج مشابه للسلوك الإنساني الذكي. والعلاقة بين الفريقين لا تنتهي عند هذا الحد، فعندما يتم تمثيل نموذج على الكومبيوتر يقوم باحثو الذكاء الاصطناعي باختبار هذا النموذج وبالتالي إختبار صحة النظرية التي أصدرها علماء «الإدراك». وفي كثير من الأحيان يتم مراجعة النظرية. وتدقيقها وإعادة تمثيلها من جديد.

ويوضح **شكل (١ ـ ١)** العلاقة بين الأنشطة المختلفة التي يقوم بها الفريقان في مجال تمثيل الذكاء الإنساني بالكومبيوتر وتدقيق نظريات الإدراك.

وهناك نقطة خلاف جذرية بين علماء الذكاء الاصطناعي حول كيفية تمثيل الذكاء. فالبعض يرى أن تمثيل الذكاء قد يتم باستخدام أي تكنيك يؤدي الهدف المطلوب، والبعض الآخر يرى أنه يجب محاكاة العمليات الذهنية الإنسانية المؤدية إلى صفة الذكاء. ولذلك يفضل الفريق الأول إستخدام إسم **«ذكاء الماكينة»** بدلاً من إسم **«الذكاء الاصطناعي»**.



شكل (١ - ١)

ولتوضيح كل من وجهتي النظر دعنا نضرب مثلاً بمباراة في الشطرنج : هناك طريقتان لإنشاء برنامج يمثل لعبة الشطرنج بالكومبيوتر، الطريقة الأولى هي أن يحاكى البرنامج طريقة تفكير خبراء الشـطرنج في اللعب. وهـذا هو مذهب أنصار «الذكاء الاصطناعي».

أما الطريقة الثانية لتمثيل الشطرنج فهي أن تحسب كل النتائج المتوقعة نتيجة لتحريك أي قطعة والتي يصل عددها إلى ٠٠٠ ١٠ إحتمال. وبالطبع فليست هذه هي الطريقة الإنسانية في لعب الشطرنج لكنها طريقة أنصار «ذكاء الماكينة».

وإذا كان خلافاً قد احتدم بين فريقين حول «الطريقة» المستخدمة، فإن خلافات أخرى قد نشبت حول المبدأ نفسه أي حول إمكانية صناعة كومبيوترات مفكّرة!.

فالبعض يرى أن العقبات المتوقعة ليست قاصرة على تعريف الذكاء البشري بل على معرفة ماهية العقل البشري نفسه الذي يبدو كلغز محيّر مغلق الأسرار. أما بعض المتفاءلين فيرون أن العقل البشري ليس إلاّ ماكينة من اللحم أو كومبيوتر معقد مؤلّف من بلايين الخلايا.

(١ - ٤) تعريفات أخرى للذكاء الاصطناعي:

أما التعريف الثالث للذكاء الاصطناعي فيقول:

«إن الذكاء الاصطناعي هو هذا الفرع من علم الكومبيوتر الذي يبحث في حل المشكلات باستخدام معالجة الرموز غير **الخوارزمية**».

وقد قدم هذا التعريف كل من: «بروس بوشانان» و «إدوارد شورتليف» في كتابهما عن النظم الخبيرة:

«Rule—Based Expert Systems»

ويضم هذا التعريف إصطلاحيين جديدين لا بد من التوقف عندهما قليلاً:

(أ) معالجة الرموز ومعالجة الأرقام:

من المعروف أن أجهزة الكومبيوتر التقليدية تقوم بعملية معالجة الأرقام (numeric processing) وأن كل ما يدخل إليها من بيانات يتحول إلى أرقام.

أما الذكاء البشري فيبدو أنه يعتمد على **قدرة معالجة الرموز (symbolic processing)** أكثر من معالجة الأرقام. والبشر قد يختلفون في مواهبهم وطبائعهم فبعض الناس يتذكرون الأعداد أكثر من غيرهم أو يقومون بعمليات حسابية معقدة شفهياً. ولكن الصفة التي يشترك فيها البشر عموماً هي القدرة على التصوّر والتعامل مع الرموز والصور. ومن المعتقد أن الذكاء يعتمد كثيراً على هذه الخاصية.

(ب) الخوارزميات واللاخوارزميات :

«الخوارزم» هي المنهج الحسابي في حل المشكلات .

وفي إعتقادي أن الكلمة ستبدو غريبة على بعض القراء الأعزاء فقد تعودنا من قبل أن نقول «التسلسل المنطقي للحل» أو «المنهج الحسابي للحل» كبديل للكلمة الأجنبية «**algorithm**» .

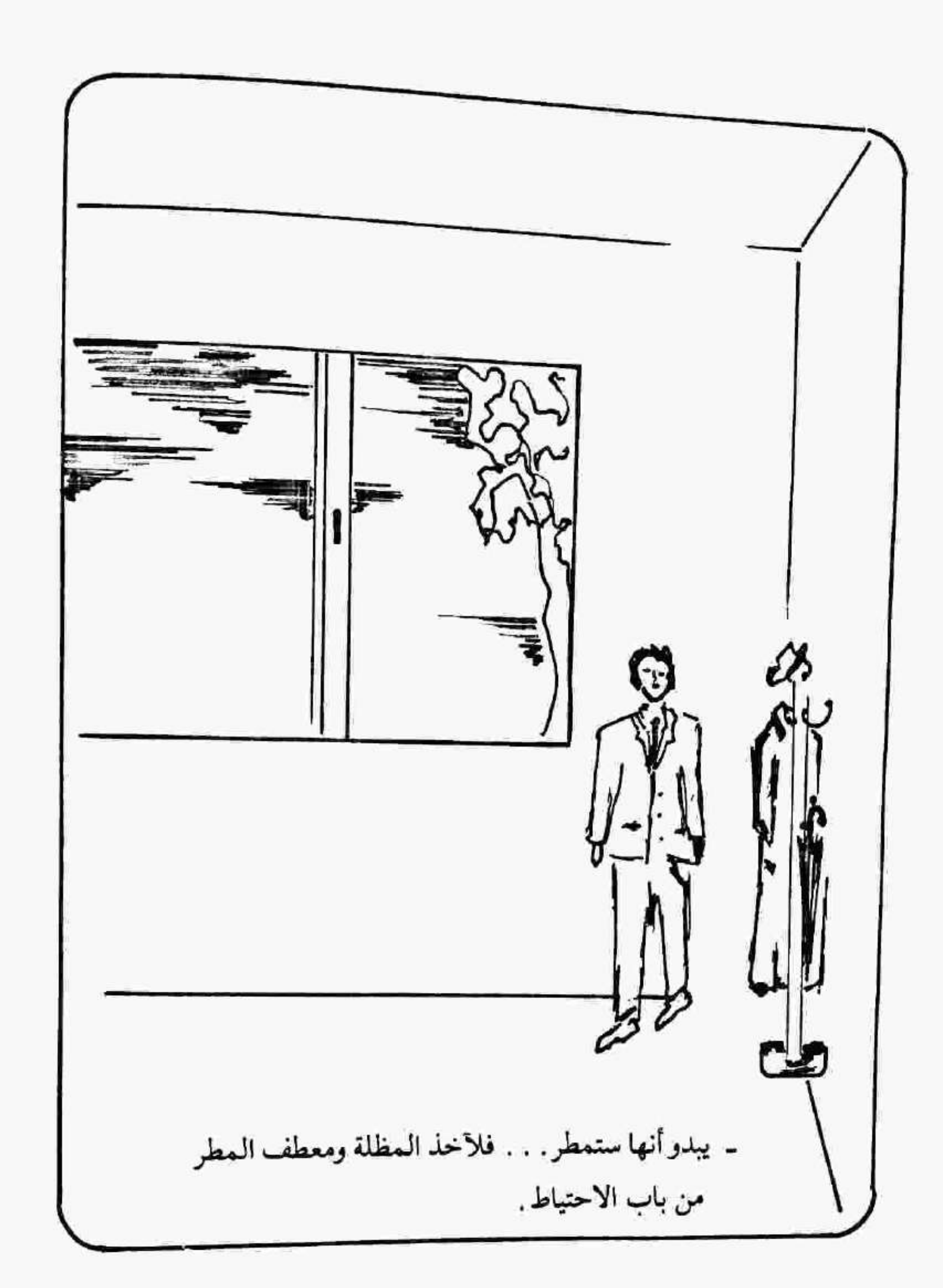
ولعل بعضنا لا يعرف أن الكلمة الأجنبية قد جاءت أصلاً من عندنا فهي عبارة عن إسم العالم العربي «**الخوارزمي**» (**أبو جعفر محمد بن موسى الخوارزمي**) .

وها نحن نعود للكلمة الأصلية «الخوارزميات» ونحن على وشك أن نهجرها إلى ما يسمى «**باللاخوارزميات**» (**nonalgorithms**) . فقد عهدنا برامج الكومبيوتر تتبع الخوارزم إذ تتسلسل خطوة بخطوة من بداية محددة إلى نهاية محددة تمثل الحل الحاسم للمشكلة . وعمارة الكومبيوتر تعتمد على هذا المنطق الخوارزمي .

ومع ذلك فالعمليات الذهنية لدى البشر يبدو أنها لا تتم بهذه الطريقة ، بل تتبع أسلوباً لاخوارزمياً بمعنى أنها لا تسير خطوة بخطوة وفق منهج محدد ، بل تعتمد أكثر على الخبرات المكتسبة وعلى رصيد من التجربة والخطأ ولذلك سوف نصطلح عليها **بالمنهج التجريبي أو الطريقة التجريبية** (**heuristics**) .

الطريقة التجريبية (Heuristics)

قد ترى السحب متجمعة في السماء وأنت تنظر من خلف النافذة فتقول لنفسك :



شكل (١ - ٢) (التفكير التجريبي)

«يبدو أنها ستمطر . . فلأحمل معطف المطر والمظلة من باب الاحتياط» هذا القرار ليس مبنياً على المنهج الحسابي (الخوارزم) بل على المنهج التجريبي (heuristics).

ومثل هذا القرار قد يتخذه الإنسان دون وعي. ومع ذلك فهناك قرارات تجريبية تتسم بالمزيد من الوعي في إتخاذ القرار كالقرار الذي تتخذه عندما تضبط المنبّه وأنت ذاهب إلى الفراش فتقول لنفسك:

«يلزمني حوالي ساعة في الصباح حتى أفطر وأرتدي ملابسي فلأضبط المنبّه على الساعة السادسة حتى أستطيع الخروج من المنزل في السابعة!»

قرار تجريبي . . يحمل في خلفيته رصيد من الخبرة!

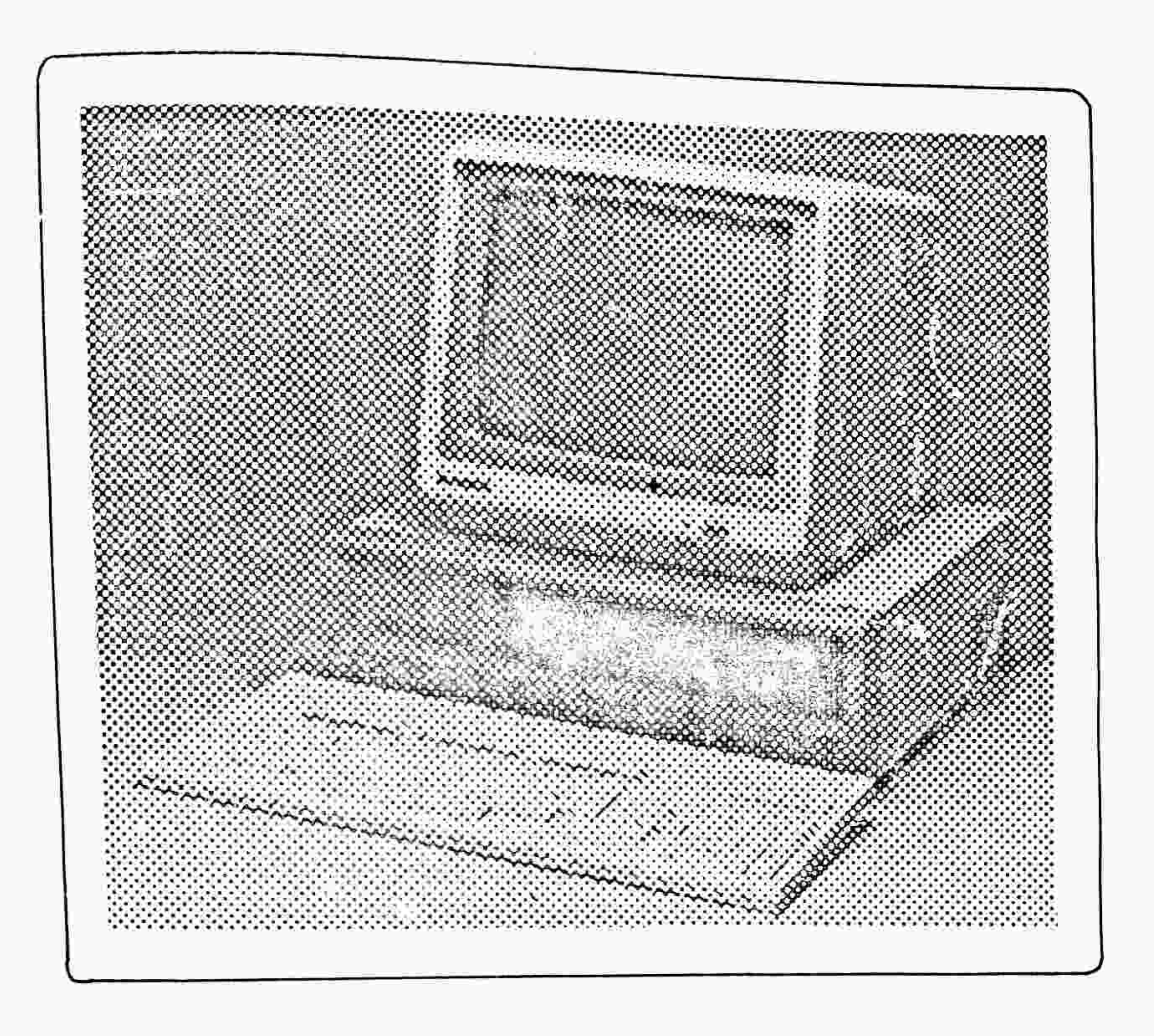
ووفقاً للتعريف الثالث للذكاء الاصطناعي يمكننا القول بأن «**المعارف**» يتم تمثيلها في صورة **رمزية** وأنه يتم معالجتها بطريقة **تجريبية**.

مضاهاة التشكيلات (Pattern matching)

ثمة تعريف رابع للذكاء الاصطناعي يعتمد على عملية مضاهاة التشكيلات، يقول:

«يعمل الذكاء الصناعي معتمداً على مبدأ مضاهاة التشكيلات الذي يمكن بواسطته وصف الأشياء والأحداث والعمليات باستخدام خواصها الكيفية وعلاقاتها المنطقية والحسابية».

فرغم أن أجهزة الكومبيوتر أكثر قدرة على تخزين المعلومات لكن البشر لديهم قدرة التعرف على العلاقات بين الأشياء. فالصور التي نشاهدها في الصحف اليومية ليست أكثر من تشكيلة من النقط الصغيرة لكن العين البشرية عندما تقع عليها تستطيع أن ترى العلاقات الكيفية التي تربط هذه النقط الصغيرة بعضها ببعض فتحدس المشهد موضوع الصورة ببساطة متناهية (شكل ١ - ٣)



شكل (١ - ٣) الإحساس بالتشكيلات.

وباستخدام نفس المقدرة نستطيع أن نتعرف على كل مكوّنـات العالم الخارجي من حولنا ونفهم معانيها وعلاقاتها ببعضها البعض. ولو إستطعنا أن نضع هذه المقدرة في أجهزة الكومبيوتر لأصبح ذكياً.

فالصورة الموضحة بالشكل مـرسومـة على الكومبيـوتر لكنهـا لا تعني بـالنسبة لـه أكثر من كـونها مجمـوعة من النقط أو بمعنى أدق مجمـوعـة من الأرقام.

(١ ـ ٥) أين نحن الآن...

تضاربت تعريفات الذكاء الاصطناعي وتعددت، ولكن بصرف النظر عن أهمية التعريف فالذكاء الاصطناعي مجال يهتم فيه الباحثون بإبداع ملامح وقدرات جديدة لأجهزة الكومبيوتر لكي يؤدي للناس خدمات بعينها لم تكن موجودة من قبل مثل الروبوطيات وإدخال البيانات بالصوت واللغة الطبيعية.

وذات يوم سوف تصبح هذه الخدمات شيئاً مألوفاً لا تحتاج للمزيد من الأبحاث والتطوير. عندئذ سوف ينتقل إهتمام باحثي الذكاء الصناعي إلى آفاق جديدة ومجالات جديدة ويتركون سائر المجالات القديمة للمهندسين والفنيين.

أي أن الذكاء الاصطناعي **تقع دائماً على الحافة** من علم الكومبيوتر وهذا يغني عن أي تعريف ثابت. ولعله ليس من المهم أن نعرف بالتحديد ما هو الذكاء الاصطناعي بقدر ما يجب أن نعرف ماذا يمكن أن يقدمه الذكاء الاصطناعي لخدمة البشرية.

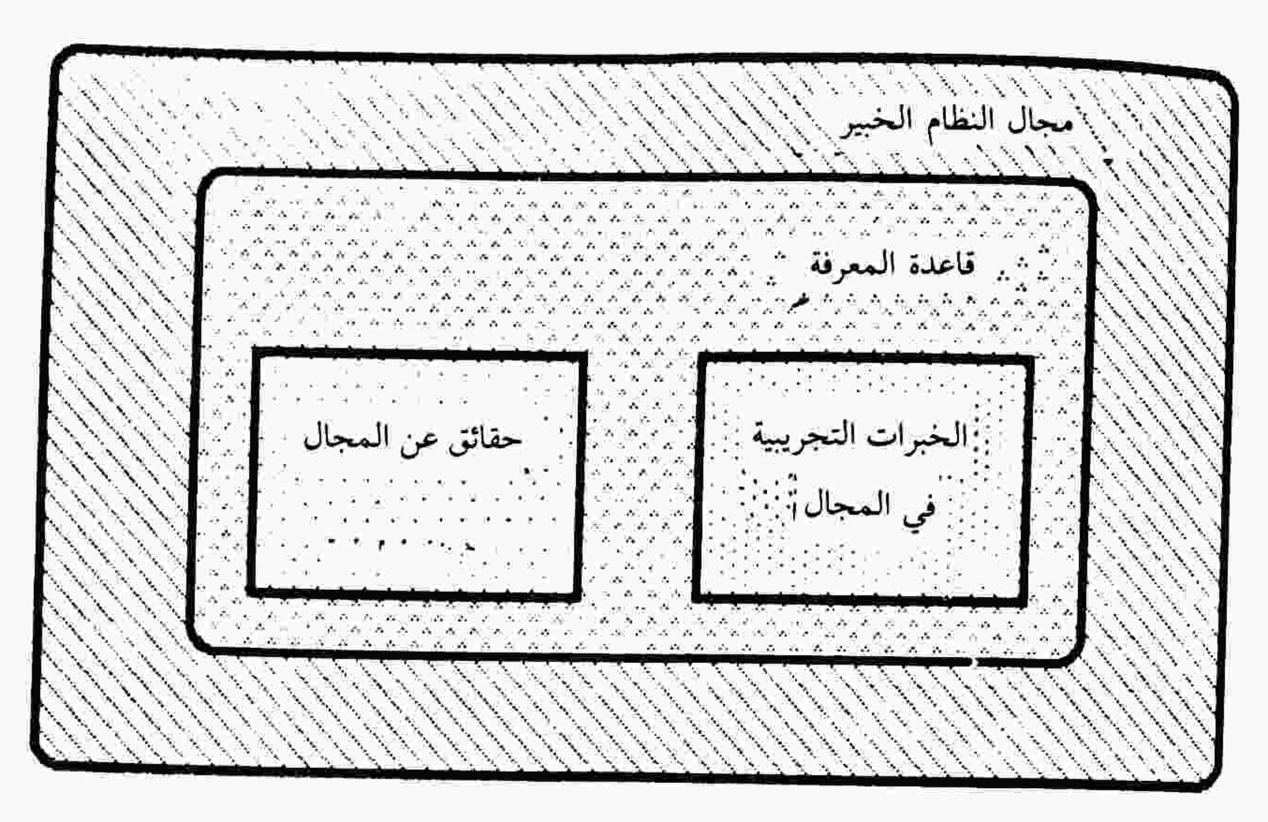
(١ - ٦) ماذا يقدمه الذكاء الاصطناعي من خدمات؟

نقدم فيما يلي بعض الصناعات أو التكنولوجيا التي تندرج تحت عنوان أبحاث الذكاء الاصطناعي، على أن نعرضها تفصيلاً عندما نتقدم في فصول الكتاب.

(١ - ٦ - ١) النظم الخبيرة (Expert Systems)

«النظام الخبير» هو برنامج صُمّم خصيصاً ليقوم بدور «الخبير» في مجال بعينه. وقد يطلق عليها أيضاً **«نظم قواعد المعرفة» (knowledge based systems)** ويتكون النظام الخبير من **قاعدة للمعرفة (knowledge base)** تحتوي على الحقائق الخاصة بالمجال المعيّن علاوة على **الخبرات التجريبية (heuristics)** أو القواعد الخاصة باستخدام هذه الحقائق. شكل (١ - ٤).

والنظام الخبير قد يختزن المعارف الطبية التي تختص بتشخيص الأمراض، أو المعارف الكيميائية في مجال التحاليل، أو الاكتشافات الجيولوجية. وبذلك فهو يقوم بدور الخبير في المجال المعيّن لذلك فإن له فائدة عظيمة في مساعدة الخبراء والباحثين في هذا المجال. وسوف نعرض في الفقرات التالية أهم النظم الخبيرة التي تم تنفيذها بالفعل.



شكل (١ - ٤) مكونات النظام الخبير

(١ - ٦ - ٢) معـالجة اللغـة الطبيعيـة
(Natural language Processing)

نعلم جميعاً أننا نتعامل مع أجهزة الكومبيوتر باستخدام لغات معينة بدءاً من **لغة الماكينة** (machine language) التي يصعب على البشر فهمها والتي اصطلح على تسميتها باللغات المنخفضة المستوى حيث أنها تهبط لمستوى الماكينة ؛ وحتى اللغات عالية المستوى مثل **فورتران وبيسك وسي**. ولكن حتى هذه اللغات عالية المستوى لا زالت تحتاج لدراسة خاصة حتى يلم بها الإنسان قبل أن يتعامل مع الكومبيوتر.

والهدف النهائي من معالجة اللغة الطبيعية هو تمكين الكومبيوتر من فهم اللغة العادية التي نتحدث بها، فضلاً عن توليد اللغة الطبيعية أثناء الحوار مع الكومبيوتر.

أي أن معالجة اللغة الطبيعية (N L P) تنقسم إلى شقّين:

(١) فهم اللغة الطبيعية.

(٢) توليد اللغة الطبيعية.

(١ - ٦ - ٣) حاسة السمع للكومبيوتر
Speech Recognition

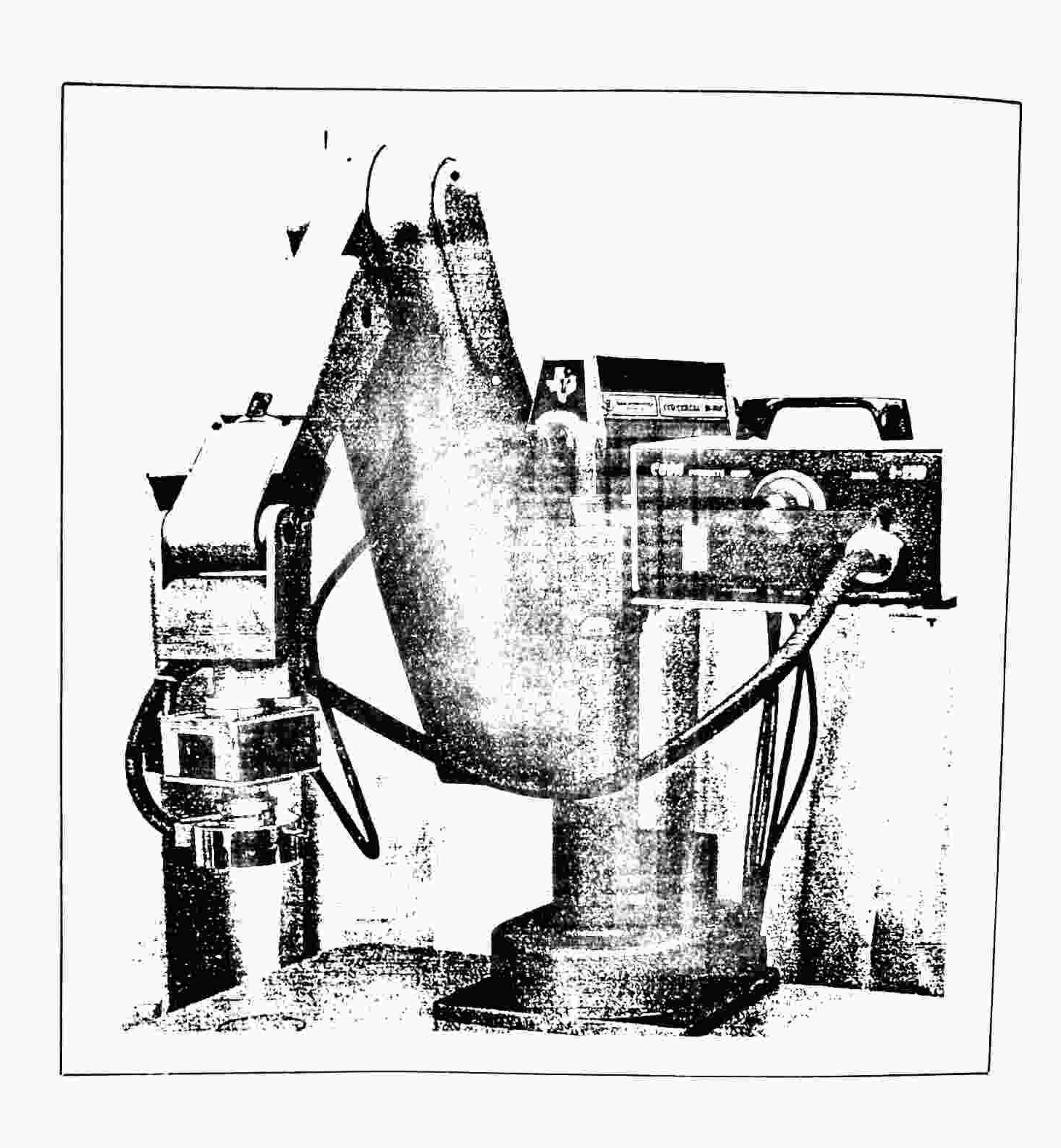
إستمراراً لتطوير معالجة اللغة الطبيعية، فإن الأبحاث الجارية تهدف إلى التعامل مع الكومبيوتر شفاهة بدلاً من الكتابة على لوحة الأزرار. معنى ذلك هو إضافة حاسة السمع للكومبيوتر.

وهذه التكنولوجيا مطروحة في الأسواق منذ وقت لا بأس به وهي متوفرة لأجهزة الميكروكمبيوتر الصغيرة، لكنها مع ذلك ليست في صورتها المرغوبة حيث أنها محدودة الإمكانات فضلاً عن أن الكومبيوتر لا يستطيع التعرف على الكلمات بنسبة عالية من الدقة. وسوف نتعرض لتفصيلات هذا الموضوع في الأبواب التالية.

(١ - ٦ - ٤) حاسة البصر للكومبيوتر (Computer vision)

والرؤية في حد ذاتها تعني تصوير المنظر بكاميرا تليفزيونية وتحويله إلى بيانات تختزن في ذاكرة الكومبيوتر وهذا عمل سهل. أما الجزء الهام والمعضل فهو كيفية جعل الكومبيوتر يفهم محتويات الصورة التي يحملها في ذاكرته (التي رآها!)

ومن أهم تطبيقات الرؤية بالكومبيوتر هو إمداد الروبوط بحاسة البصر حتى يستطيع التعرف على البيئة المحيطة به أثناء الحركة.



شكل (١ - ٥) الروبوط الصناعي ذو حاسة البصر .

(١ - ٦ - ٥) الروبوط الذكي (AI—Robot)

الروبوط جهاز كهروميكانيكي يمكن برمجته لأداء بعض الأعمال اليدوية، التي يشق على الإنسان أداؤها مثل اللحام بالقوس الكهربائي، أو الأعمال المملة ذات الطابع التكراري مثل عمليات التجميع والطلاء، وكذلك الأعمال الخطرة التي قد يتعرض فيها الإنسان للإشعاع النووي.

ولا يهتم الذكاء الصناعي بالروبوطات كلها، بل بنوعية منها هي الروبوطات الذكية (AI—robots)!

فهناك الكثير من الآلات الميكانيكية القابلة للبرمجة لكن مستواها في الذكاء لا يزيد عن مستوى الغسالة الكهربائية. فالمقصود بالروبوط الذكي هو الروبوط الذي يستجيب لتغيرات البيئة المحيطة به حيث يستقبل هذا التغيرات عن طريق مدخل البصر (الكاميرا) أو مدخل السمع (الميكروفون)، ووفقاً لهذه التغيرات يمكنه تغيير مجرى البرنامج.

فمن الأشياء المطلوبة من الروبوط الذكي أن يغيّر مساره إذا إعترضه أي عائق. وهذا يستلزم منه أن يرى العوائق ويتعرف عليها ويعدّل مساره بحيث يحيد عنها.

(١ - ٦ - ٦) التعليم بمعاونة الكومبيوتر (CAI) والتعليم الذكي بمعاونة الكومبيوتر (ICAI)

منذ زمن طويل والكومبيوتر يستخدم في النهوض بالعملية التعليمية عن طريق البرامج والألعاب التعليمية. ويسمى هذا الفرع من فروع الكومبيوتر CAI إختصاراً للكلمات:

Computer—Aided Instruction

أما الطـرق الحديثة التي قدمها الذكاء الاصطناعي فهي البرامج التعليمية التي تقوم بدور المدرس الخصوص الذي يستطيع مع الوقت أن يشعر بمستوى الطالب ويعدّل من طريقته بما يتناسب مع قدرات التلميذ.

وفي هذا التطبيق ليس مطلوباً فقط من الكومبيوتر أن يُعلّم، بل أن يتعلم أيضاً! مطلوب منه أن يقيّم قدرات التلميذ من خلال إجاباته ويعدّل من طريقته وأسلوبه في التدريس حتى يحقق الهدف المطلوب.

(١ - ٦ - ٧) البرمجة الأوتوماتيكيّة (Automatic Programming)

البرمجة هي إخبار الكومبيوتر عما هو مطلوب منه. وهذا يستلزم إنفاق الوقت والجهد. فإذا إعتبرنا برنامجاً عمليّاً مثل برنامـج «دفتر الأستـاذ العام» نجد أنه في الحقيقة مكوّن من منظومة برامج محتوية على عشرات البرامـج كل منها يختص بعمل ما مثل إدخال المصروفات أو السلع المشتراه أو طبع الموازنة والتقارير المختلفـة. . . إلى آخره. مثـل هذه البـرامج تحتـاج إلى تصميم، وتكويد (الكتابة بلغة من لغات الكومبيوتر)، وإختبار، وإصـلاح ما بها من عيوب، وتقييم نهائي.

والهدف الذي يسعى إلى تحقيقه باحثو الذكاء الصناعي هو خلق أدوات ذكيّة تساعد المبرمجين وتوفر وقتهم بما تقدمه من «تشهيلات»!

أما الصورة النهائية التي يسعون إلى تحقيقها فهي الكومبيوتر الذي يبرمج نفسه بحسب طلبات المبرمج أو مواصفات البرنامج المطلوب. عندئذ سوف يقوم الكومبيوتر بإلقاء بعض الأسئلة المشابهة للأسئلة التي يلقيها محلل النظم (system analyst) ليستفسر عن ماهية النظام المطلوب وعن المدخلات (inputs) والمخرجات (outputs) وفي نهاية الحوار يقوم بإنشاء البرنامج المطلوب جاهزاً على التنفيذ!

(١ - ٦ - ٨) المعاونة في التخطيط وإتخاذ القرارات

إذا أقدمت على مشروع ما، فإنك قد تعتمد على الحظ والمغامرة في تحقيق الهدف وقد تلجأ إلى التخطيط إذا كان الهدف مركّباً والطريق إليه يحتاج خطة مدروسة. وبناء الخطط - في مجال التجارة على وجه الخصوص - يحتاج تجميع قدر كبير من المعلومات وتقييمها. وبرامج الذكاء الاصطناعي تهدف إلى المساعدة في عملية التخطيط للمشروعات لا سيما لمن كانت مهمتهم تتضمن إتخاذ القرارات.

تذكر هذه المصطلحات (مرتّبة حسب ورودها بالباب)

الذكاء الاصطناعي	*artificial intelligence*
علم الإدراك	*cognitive science*
محاكاة (أو تمثيل)	*simulation*
معالجة الأعداد	*numeric processing*
معالجة الرموز	*symbolic processing*
الخوارزم (الجمع خوارزميات)	*algorithm*
اللاخوارزميات	*nonalgorithms*
الطريقة التجريبية / المنهج التجريبي / التجريب	*heuristics*
مضاهاة التشكيلات	*pattern matching*
النظم الخبيرة	*expert systems*
معالجة اللغة الطبيعية	*natural language processing (NLP)*
لغة الماكينة	*machine language*
حاسة السمع للكومبيوتر	*speech recognition*
حاسة البصر للكومبيوتر	*computer vision*
الروبوطيات	*robotics*
الروبوط الذكي	*AI robot*
التعليم بمعاونة الكومبيوتر	*CAI*
التعليم الذكي بمعاونة الكومبيوتر	*ICAI*
البرمجة الأوتوماتيكية	*automatic programming*

الخلاصة

١ . لا يوجد إتفاق عام بين الباحثين في مجال الذكاء الاصطناعي على تعريف واحد له .

٢ . تدور التعريفات المطروحة للذكاء الاصطناعي حول أهم المضامين التي يحتويها كفرع من علم الكومبيوتر مثل:

- السلوك الذكي — intelligent behavior
- معالجة الرموز — symbolic processing
- المنهج التجريبي / الطريقة التجريبية / التجريب — heuristics
- مضاهاة التشكيلات — pattern matching

٣ . يبحث علم الإدراك (cognetive science) في ميكانيكية السلوك البشري ويمد باحثي الذكاء الاصطناعي بالنظريات التي تمهد طريق البحث.

٤ . إن أحد الوسائل التي يمكن بها إصطناع الذكاء في الكومبيوتر هي محاكاة السلوك الإنساني .

٥ . تتضمن مجالات البحث في الذكاء الاصطناعي الآتي:

- النظم الخبيرة — Expert systems
- معالجة اللغة الطبيعية — Natural Language Processing (NLP)
- حاسة السمع للكومبيوتر — Speech Recognition
- حاسة البصر للكومبيوتر — Computer Vision
- الروبوط الذكي — AI—Robot
- التعليم الذكي بمعاونة الكومبيوتر — Intetigent Computer -- assisted Instruction (ICAI)
- البرمجة الأوتوماتيكية — Automatic programming
- المعاونة في التخطيط وإتخاذ القرارات — Planning and decision support

الباب الثاني

النظم الخبيرة

Expert Systems

مفتتح

النظام الخبير هو نسخة مُقلّدة من الإنسان الخبير.

وقد جرى العرف بيننا أن نطلق لفظ الخبير على من يتمتع بدراية واسعة في مجال من المجالات.

ولا يشترط أن يكون الخبير عالماً أو أستاذاً أكاديمياً، بل إنه قد يكون فنياً ذا مهارة وخبرة في إصلاح الأجهزة الإليكترونية أو الميكانيكية. فنحن في حاجة إلى خبرة العالم والمهندس والحرفي الماهر سواء بسواء.

والخبير لا يستفيد منه عامة الناس بقدر ما يستفيد منه العاملون في مجال مهنته باستشارته في أمر معضل أو الاستعانة بقبس من خبرته لحل إحدى المشكلات في بحث علمي.

ولكل خبير تخصص دقيق يجيده لكننا لم نسمع عن خبير في كل شيء. لذلك فإن النظم الخبيرة التي أنشئت حتى الآن باستخدام الكومبيوتر هي نظم ذات تخصصات محددة كالطب وإصلاح الأجهزة والتحاليل الكيميائية.

والخبرة لا تعني المعلومات فقط بل تشتمل أيضاً على الطرق التجريبية المختلفة لاستخدام هذه المعلومات في حل مشكلة معينة.

ونحن عندما نواجه مشكلة معينة كتعطّل جهاز التليفزيون في المنزل

ونستدعي له «خبيراً» لإصلاحه، لا يهمنا في هـذه الحالـة أن يحدثنـا الخبير عن معلوماته في إصلاح التليفزيون بقـدر ما يهمنـا أن يستخدم هذه المعلومات ويتم إصلاح الجهاز. وهذا هو الفرق بين المعلومات والمعرفة. لذلك يقال للنظم الخبيرة أنها النظم ذات قواعد المعرفة.

(٢ ـ ١) ما هو النظام الخبير؟ Expert System

مررنا في الباب الأول بالنظم الخبيرة وعلمنا أنها تتكون من قاعدة للمعرفة (knowledge base) بصفة أساسية تختزن فيها «المعارف». والحقيقة أن قواعد المعرفة تحتاج لوقفة!

ولعل بعض القراء قد ألفوا قواعد البيانات (data base) ولعلهم يشكّون أن تكون **قواعد البيانات وقواعد المعرفة** إسمين لشيء واحد. ولكن: لا في الحقيقة. فبرغم أن كلتيهما تستخدمان في خفظ البيانات وإسترجاعها لكن هناك فارقاً جوهرياً بينهما.

ويمكن القول بأن البيانات المخزنة في قواعد البيانات هي معارف أيضاً ولكنها **معارف إخبارية** (declarative knowledge) أما المعارف المختزنة في قاعدة المعرفة فهي تجمع نوعين من المعارف:

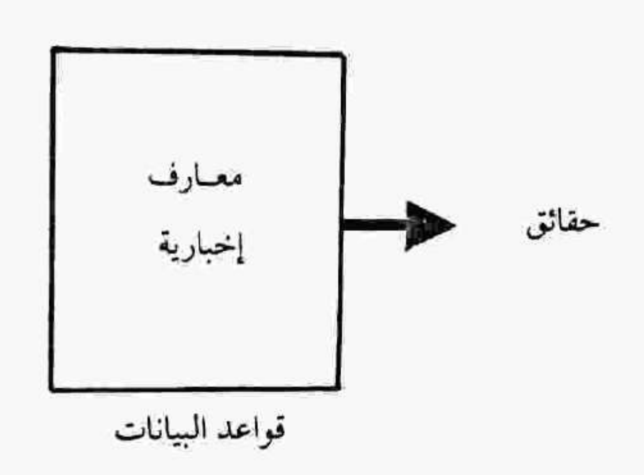
- **المعارف الإخبارية (declarative knowledge)**
- **والمعارف المنهجية (procedural knowledge)**

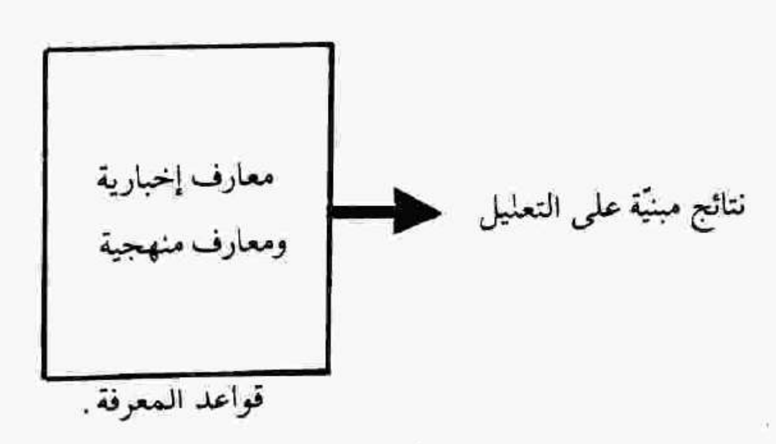
والمعارف المنهجية تكسب الكومبيوتر القدرة على التعليل الجديرة بخبير من البشر!

ولكي ندرك الفارق بينهما نضرب مثالاً بقاعدة بيانات طبية وقاعدة

معارف طبية. مع الأولى يمكننا أن نحصل على قائمة بأعـراض مرض معيّن وهي قائمة نافعة بلا شك تغني عن البحث في المراجع أو دوائـر المعارف. أما مع قاعدة المعرفة فهي قد تساعد بالفعل على تشخيص مرض ما، وتحدد أسبابه، وتقترح برنامجاً للعلاج.

أي أن قاعدة البيانات تمـدنا بـالحقائق. أمـا قاعـدة المعرفـة فتمدنـا بالنتائج النهائية المبنية على التعليل.

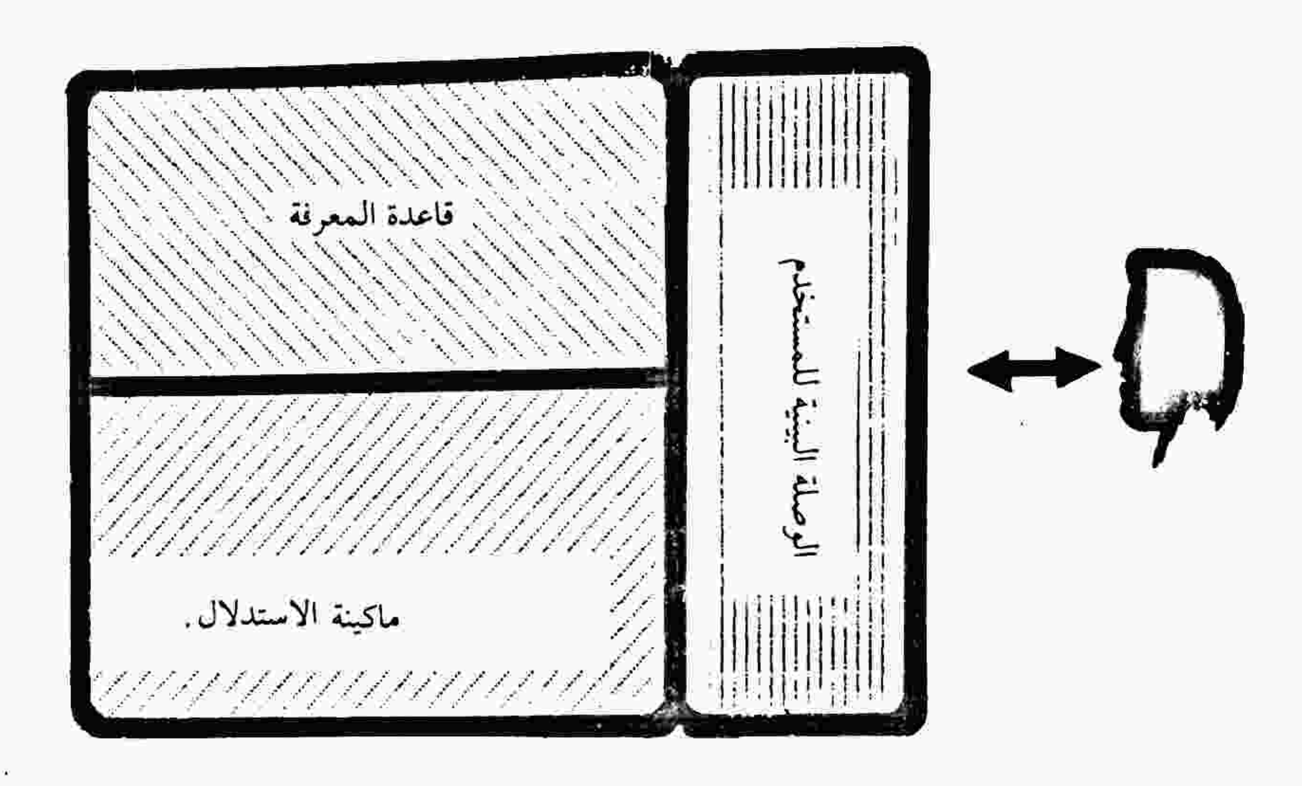




شكل (٢ - ١)

المقارنة بين برامج قواعد البيانات وقواعـد المعرفـة

(٢ - ٢) مم يتكون النظام الخبير؟



شكل (٢ - ٢) مكونات النظام الخبير

في الـواقع أن تصميمـات النظم الحبيـرة تختلف فيمـا بينهـا بحسب المبرمجين القائمين بالتصميم وبحسب الغرض من إنشـاء النظام ومـع ذلك فهناك خطوط عريضة تتفق فيها النظم الموجودة من حيث المكونات وهي :

- قاعدة المعرفة (knowledge Base) .
- ماكينة الاستدلال (Inference Engine)
- الوصلة البينية مع المستخدم (User Interface)

ولنتحدث عن هذه العناصر بشيء من التفصيل:

قاعدة المعرفة (Knowledge Base)

ربما أعتقد الباحثون في مرحلة من المراحل أن خاصية التعليل وحدها قد تكفي لمنح الكومبيوتر صفة الذكاء ولكن هذه الفكرة أثبتت خطأها فالإنسان الذكي القادر على التعليل والاستنباط لا بد له من خلفية واسعة من المعلومات حتى يُظهر لنا نبوغه. لذلك كانت قاعدة المعرفة جزءاً هاماً من النظام الخبير.

وكما علمنا أن قاعدة المعرفة لها شقّين هما المعارف الإخبارية والمعارف المنهجية. والمعارف الإخبارية عادة تضم الحقائق عن الأشياء والأحداث والمواقف، أما المعارف المنهجية فتضم الأساليب والإجراءات المتبعة. وقد ينفصل أو يندمج كل من النوعين بحسب النظام نفسه.

ويمكن تمثيل المعارف في النظم الخبيرة بطرق مختلفة لكن أكثر الطرق شيوعاً هي **صيغة قواعد الإنتاج (production rules)** ويسمى النظام الخبير في هذه الحالة بالنظام المبني على قواعد الإنتاج (rule—based production system) أو تسمى إختصاراً **النظم المبينة على القواعد (rule—based systems)**.

وفي مثل هذه الأنظمة تندمج قاعدتا المعارف الإخبارية والمنهجية في كلٍ متكامل في صورة مناهج تجريبية.

مثال ١: المثال الآتي بعد يمثل أحد قواعد الإنتاج في النظام الخبير R1 (والمعروف أيضاً باسم XCON) الذي صمم لشركة DEC. بالتعاون مع شركة CMU.

والنظام R1 هو نظام صناعي ذو خبرة في تنظيم عمليات شراء قطع الغيار والأجهزة.

```
If      the most current active context is assigning a power
           supply, and
        a UNIBUS adaptor has been put in a cabinet, and
        the position it occupies in the cabinet (its nexus) is
           known, and
        there is space available in the cabinet for a power
           supply for that nexus, and
        there is an available power supply, and
        there is no H7101 regulator available,
then    add an H7101 regulator to the order.
```

شكل (٢ - ٣)

شريحة من النظام الخبير R1

وكما نرى أن قاعدة الإنتاج هي عبارة عن سلسلة مركبة من العبارات الشرطية (if, and, and,..., then) تنتهي بقرار ما وهو إضافة منظم القلطية H7101 إلى أمر الشراء.

ومع ذلك فليست كل القواعد تختص بتفصيلات الموضوع كهذا المثال، فهناك نوع من القواعد **يختص بكيفية إستخدام القواعد** وهذه النوعية **تسمى بقواعد القواعد (meta—rules)**.

مثال ٢ : هذا هو النظام الطبي الخبير **MYCIN** الذي تم تطويره بجامعة ستانفورد في أوائل السبعينات .

```
IF    1) there are rules which do not mention the current goal
         in their premise
      2) there are rules which mention the current goal in
         their premise
THEN  it is definite that the former should be done before
         the latter.
```

شكل (٢ - ٤)

شريحة من النظام الطبي الخبير MYCIN .

وكما نرى فالمثال لا يضم أية معلومات طبية على الإطلاق بل هو يبحث في ترتيب إستخدام قاعدتين من قواعد الإنتاج .

(٢ - ٢ - ٢) ماكينة الاستدلال (Inference Engine)

إن تمتعك بكم كبير من المعلومات في مجال ما لا يعني وحده أن تصبح خبيراً في هذا المجال. فلا بد أن تعرف أيضاً **كيف ومتى** تستخدم المعلومة المناسبة .

وهذا بديهي فهناك نماذج من التلاميذ يجيدون حفظ المقررات الدراسية حتى تنتفخ رؤسهم بالمعلومات، لكن الامتحان غالباً ما يكشف لهم أن الحفظ وحده لا يكفي .

وبالمثل فإن النظام الذي يحتوي على قاعدة معارف فقط لا يكون نظاماً

خبيراً، فلا بد من وسيلة لتوجيه إستخدام هذه المعلومات، وهذه الوسيلة قد عرفت بأسماء كثيرة هي :

- منشأ التحكم (control structure)
- مترجم القواعد (rule interpreter)
- ماكينة الاستدلال (inference engine) .

وبصرف النظر عن الأسماء المتعددة، فإن وظيفة ماكينة الاستدلال هي أن تحدد متى وكيف تستخدم المعلومات في قاعدة المعارف، أي أنها تقوم بإدارة النظام الخبير. فهي تحدد أي القواعد سيتم إستخدامها، وتقوم بتنفيذ القاعدة المختارة، وفي النهاية تحدد ما إذا كانت المشكلة قد بلغت حلاً مقبولاً .

ولأن ماكينة الاستدلال منفصلة عن قاعدة المعارف فإنها قد تستخدم بنجاح مع أكثر من نظام خبير مهما إختلفت أغراض النظم .

(٢ - ٢ - ٣) الوصلة البينية للمستخدم (User Interface)

الوصلة البينية هي المرحلة الأخيرة في النظام الخبير وهي أهم المراحل على الإطلاق فالصورة النهائية للنظام تظهر من خلال الوصلة البينية للمستخدم، فهي التي تصل بين الكومبيوتر والمستخدم. وبالطبع فلا قيمة لخطبة عصماء يلقى بها خطيب مفوّه إذا كان الميكروفون الذي يصل بينه وبين الجماهير معطلاً! أو إذا كان يخطب بلغة لا يفهمها الناس! .

والمواصفات المطلوبة للوصلة البينية في حالة النظام الخبير هي :

(١) أن تمكّن المستخدم من صياغة أسئلته واستفساراته حول المشكلة المعيّنة بسهولة .

(٢) أن تقدم الحلول والتوصيات للمستخدم في صورة **واضحة ووافية**.

ولأن مستخدم النظام الخبير لا يشترط بالضرورة أن يكون خبيراً بتشغيل أو برمجة الكومبيوتر، فيجب أن يكون أسلوب الاستخدام سهلاً ومتاحاً للجميع. لذلك فإن تكنيكات أخرى من الذكاء الاصطناعي تستخدم لتصميم هذه الوصلة مثل تكنيك معالجة اللغة الطبيعية والتي تجعل الحوار بين الإنسان والكومبيوتر يتم من خلال اللغة العادية التي يتحدثها الناس (بالانجليزية أو العربية).

(٢ - ٣) خصائص النظام الخبير

مهما إختلفت النظم في الغرض الذي صممت من أجله فإن هناك مواصفات عامة تمنح النظام الخبير الجودة «والذكاء» هذه المواصفات هي :

(أ - سهولة الاستخدام.
(ب - أن يكون نافعاً في المجال الذي صُمّم له.
(جـ) أن يكون قادراً على التعليم، عندما يستخدمه غير المتخصصين.
(د - أن يكون قادراً على التعليل وشرح الأسباب للتوصيات التي يقدمها.
(هـ - أن يستجيب للأسئلة البسيطة التي يطرحها غير المتخصصين.
(و -) أن يكون قادراً على التعلّم من خلال الأسئلة التي يطرحها على المستخدم.
(ز -) أن يكون سهل التعديل، قابلاً لتحديث المعلومات أو الإضافة إليها أو إصلاح ما بها من عيوب.

(٢ - ٤) مراحل إنشاء النظم الخبيرة

تستطيع بلا شك أن تنشىء نظاماً خبيراً بمفردك، أو بالتعاون مع صديق لك، وربما لا يستغرق الأمر أكثر من بضعة شهور. لكنك سوف تتحقق أثناء العمل أن النظام الخبير الجيد يحتاج في تصميمه إلى تجميع إمكانات مختلفة لا تتوافر عادة لدى شخص واحد. لذلك فإن الشركات التي تقوم ببناء النظم الخبيرة المعقدة عادة ما توكل العمل إلى فريقين من المتخصصين هما:

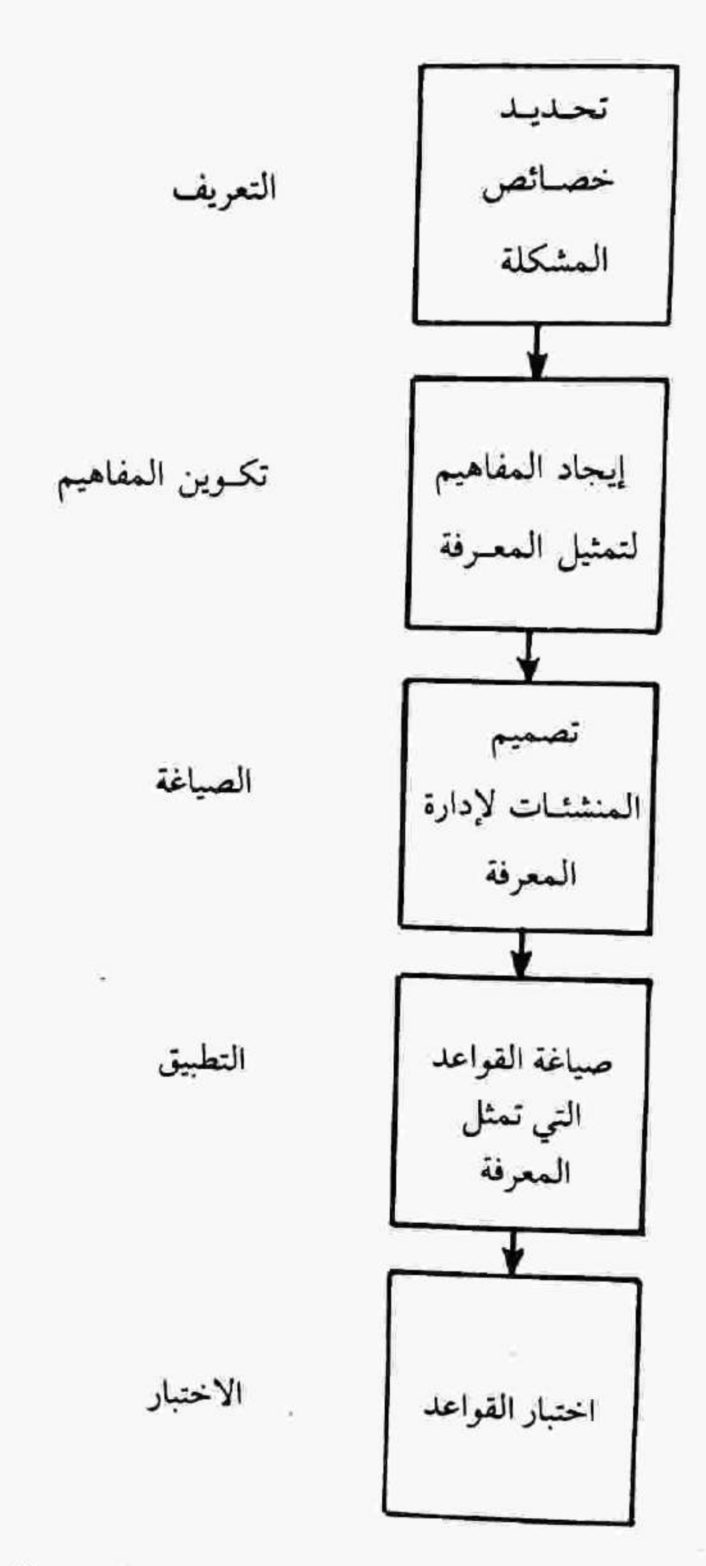
(١) مهندسو المعرفة (Knowledge Engineers)

(٢) خبراء المجال (Domain Experts)

أما مهندس المعرفة فقد يكون مبرمجاً أو مهندس كومبيوتر، لكن الاسم «مهندس المعرفة» يعني أن يعمل في مجال الذكاء الاصطناعي. وبالطبع لا توجد بعد الجامعة التي تمنح شهادة «هندسة المعرفة!» ولكنها خبرة تكتسب بالعمل في الشركات المهتمة بالذكاء الاصطناعي أو بالبحث في هذا المجال بصفة عامة.

أما خبير المجال فهو يتمتع بخبرة واضحة في المجال الذي سوف يعمل فيه النظام الخبير، لكنه لا يشترط أن يكون مؤهلاً في الذكاء الاصطناعي بأي درجة.

أما إنشاء النظام نفسه فيتم على مراحل تخدم كل مرحلة هدفاً واضحاً (شكل ٢ - ٥).



شكل (٢ - ٥) المراحل الخمس لتطوير نظام خبير

(٢ - ٤ - ١) التعريف بالمشكلة (Problem Identification)

شكـل (٢ - ٦)

حلقة العمـل أثناء التعـريف بالمشكلة

في هذه المرحلة يتم وصف المشكلة المطلوب من النظام الخبير حلّها وصفاً دقيقاً، ويتم التعاون في هذه المـرحلة بين مهندس المعلومـات وخبير المجال على النحو التالي :

يبدأ مهندس المعرفة بتجميع أكبر قدر من المعلومات عن المجال أو التخصص المزمع البحث فيه. وليس معنى ذلك أن يصبح خبيراً في تخصص مثل الطب أو الكيمياء ولكنه يقوم فقط بتكوين خلفية كافية من المعلومات العامة التي تساعده على فهم المعلومات التي ينقلها إليه خبير المجال.

يقوم بعد ذلك خبير المجال بوصف عدة مشكلات نموذجية أو «حالات» مختلفة لتمثيل المشكلة المطلوب حلّها. ومن هذه الحالات يحاول مهندس المعرفة وضع تصور مبدئي لمضمون المشكلة ويقوم بعرضه على خبير المجال الذي قد يرى وجوب إدخال بعض التعديلات على هذا التصور فيشرح له بعض أمثلة أخرى لزيادة الإيضاح أو تعميق الفكرة حتى يصلا معاً إلى تصور مستقر للمشكلة التي سوف يعالجها النظام الخبير.

ويوضح شكل (٢ - ٦) حلقة التعاون بين مهندس المعرفة وخبير المجال وهي حلقة دائرية متكررة لا يتم الخروج منها إلاّ بتحقق شرط معيّن وهو الوصول إلى وصف مقنع للمشكلة المعنيّة، عندئذ تبدأ المرحلة الثانية.

وكنتيجة للمرحلة الأولى يتم توصيف الموارد مثل عدد العاملين بالمشروع وتخصصاتهم كذلك الكتب والمراجع والكتالوجات اللازمة.

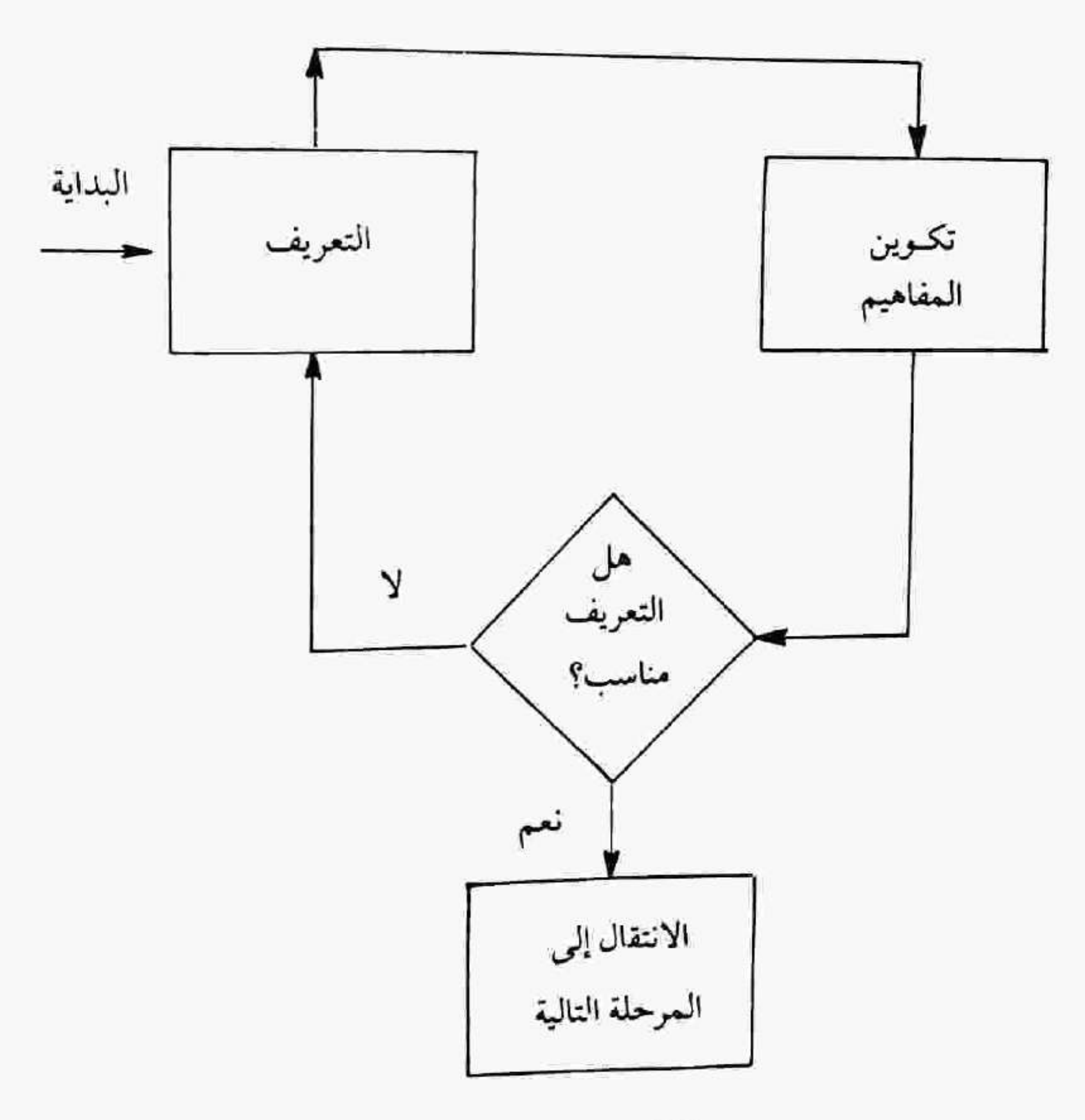
(٢ - ٤ - ٢) تكوين المفاهيم Conceptualization

في المرحلة الثانية يتم تحليل المشكلة بدرجة أعمق حتى يمكن التأكد من إستيعاب المفاهيم العامة والخاصة للمشكلة.

ويقوم مهندس المعرفة في هذه المرحلة بوضع الرسومات التي توضح العلاقات بين الأشياء وبين العمليات الجارية. ومن المفيد في هذه المرحلة تقسيم المشكلة إلى مشاكل فرعية وتوضيح العلاقات بين المشكلات الفرعية بعضها ببعض وكذلك بينها وبين المشكلة الرئيسية.

وفي هذه المرحلة أيضاً يشترك خبير المجال مع مهندس المعـرفة في تقييم كل خطوة حيث يعملان معاً من خلال حلقة تكـرارية كـالموضحـة في شكل (٢ - ٧). وقد تسفر هذه المرحلة عن إكتشاف أخـطاء أو عيوب في تصور المشكلة ذاتها كإهمال أحد الأهداف أو عدم تحديده بدقة. وفي مثل هذه الحال يعودان إلى مرحلة التعريف بالمشكلة لضبط الخلل وتدقيق وصف المشكلة.

وبنفس هذا الأسلوب يمكن معالجة بقية مراحل تطوير النظام.



شكل (٢ - ٧)
الحلقة التكرارية لتكوين المفاهيم وعلاقتها بمـرحلة التعريف

(٢ - ٤ - ٣) الصياغـة Formalization

يبدأ من هذه المرحلة حل المشكلة باستخدام أساليب الذكاء الاصطناعي حيث يقوم مهندس المعرفة باختيار التكنيكات المناسبة لتطوير هذا النظام المعيّن. ولذلك فهو يجب أن يكون ملماً بالآتي :

- التكنيكات المختلفة لتمثيل المعرفة والبحث التجريبي بالنظم الخبيرة (سيلي الحديث عنها في الأبواب القادمة).
- أدوات النظم الخبيرة (tools) المستخدمة في تشهيل وإنجاز عملية التطوير.
- النظم الخبيرة الأخرى التي تحل مشكلات مماثلة والتي قد يمكن توفيقها مع المشكلة المطروحة.

قد يختار مهندس المعرفة أحد الأدوات المعروفة لتمثيل المعرفة في النظام الخبير كله وقد يختار تكنيكاً مختلفاً لكل مشكلة فرعية، وهو في جميع الأحوال يقوم بوضع المواصفات التي تؤدي إلى إنشاء نموذج (prototype) للنظام المزمع إنشاؤه.

فعند إنشاء أحد النظم ذي القواعد (rule—based system) فإن مهندس المعلومات في هذه المرحلة يقوم **باستخراج القواعد** التي تمثل المعرفة في النظام ـ من خبير المجال.

ولنتوقف لحظة عند كلمة «إستخراج القواعد»! فخبير المجال لا يشترط بالضرورة أن يكون عالماً في تخصصه أو أكاديمياً، بل قد يكون ذا خبرة عمليّة في أحد المجالات مثل إصلاح الأجهزة الإليكترونية. وبعض الخبراء قد يعرفون كيفية أداء العمل لكنهم لا يعرفون لماذا يؤدون العمل بهذه الطريقة. والكثير من الفنيين العاملين في إصلاح الأجهزة والذي يتمتعون

بثروة من الخبرة العملية في التشخيص والإصلاح لا يستطيعون التعليل لما يفعلون لأنهم لا يعرفون إلاّ القليل عن النظريات العلمية. وبالطبع فإننا إذا كنا بصدد إنشاء نظام خبير لتشخيص وإصلاح أعطال الأجهزة فإنه يلزم نقل الخبرة التجريبية لأحد الفنيين المهرة - لا معلومات أحد العلماء - إلى الكومبيوتر. ومع ذلك فعندما يشرع مهندس المعلومات في إستخدام تكنيكاته لوصف هذه الخبرة قد يحتاج إلى التعليل ليستخلص قاعدة معينة. وهو يستخلص القواعد من الأمثلة والحالات التي يعرضها عليه الخبير، ثم يقوم الخبير بمراجعة هذه القواعد وقد يطلب تعديل بعضها. ولذلك يسير العمل في هذه المرحلة وفق حلقة تكرارية أيضاً وفي بعض النظم الكبيرة (مثل النظام MYCIN) قد تستغرق هذه المرحلة عدة أعوام!.

تحت البحث والتطوير

مهمة صعبة تلك التي يقوم بها مهندس المعرفة في فهم الخبرة البشرية التجريبية ونقلها إلى الكومبيوتر في صورة قواعد!

وحتى يأتي اليوم الذي يمكن فيه إستحداث جهاز لنسخ العقول البشرية إلى الكومبيوتر مباشرة، سوف يحفل المجال بتجارب عديدة ومحاولات لتحقيق أوتوماتيكية نقل الخبرات إلى الكومبيوتر. وهذه بعض مجالات الأبحاث الحالية:

١ - إستحداث أدوات سهلة الاستخدام

الأدوات عبارة عن برامج صممت للمساعدة في خلق النظم الخبيرة وتوفير الوقت والجهد المبذولين (سيلي الحديث عنها) ومع ذلك فاستخدام هذه الأدوات يتطلب مهارة عالية لا يتمتع بها إلاّ مهندسو المعرفة ذوو الخبرة.

أما البحث الجاري حالياً فيهدف إلى إستحداث أدوات يسهل

إستخدامها بواسطة الشخص العادي بحيث يستطيع خبير المجال أن ينشىء النظام الخبير باستخدام هذه الأدوات وبدون مساعدة مهندس المعرفة . . .
هذه إحدى المحاولات . . .

٢ ـ الكومبيوتر قارىء الكتب

رغم أن الكتب لا يمكن أن تحتوي من المعرفة مثل ما يحتوي عليه عقل الخبير من حيث أن الكتب أقل ذكاء! ولكنها قد تمدنا بما يصلح لبناء الأساس لقواعد المعرفة فضلاً عن أنها تمثل مرجعاً للخبير. لهذا يجتهد الباحثون في تطوير وسائل لقراءة الكتب مباشرة بالكومبيوتر والاستفادة بما فيها من معارف .

وبالطبع فإن التكنيكات المستخدمة في هذا التطبيق تشمل إستخدام حاسة البصر للكومبيوتر (Computer vision) علاوة على معالجة اللغة الطبيعية .

٣ ـ الكومبيوتر يعلّم نفسه بنفسه

في تجارب سبق أن أجراها الباحثون على إكساب الكومبيوتر خاصية التعلّم وإضافة ما يتعلمه إلى قاعدة معارفه، نجح البعض في أن يجعل الكومبيوتر يكتسب مهارة في أحد ألعاب التسلية بحيث يتفوق على المبرمج الذي أنشأ اللعبة من البداية. وقد إكتسب الكومبيوتر هذه المهارة من كثرة المباريات التي أدّاها مع لاعبين ذوى مهارات عالية فاستفاد منهم واختزن الكثير من المهارات .

وما يحاول الباحثون تطويره حالياً هو الاستفادة من هذه الخاصية في النظم الخبيرة بحيث أنها تنمّى معارفها وخبراتها مع الوقت ومن خلال الاستخدام[1] .

(١) للمؤلف «برامج وألعاب كومبيوترية مشروحة» تتضمن استخدام الذكاء الاصطناعي في الألعاب .

(٢ - ٤ - ٤) التطبيق Implementation

في مرحلة التطبيق يتم برمجة المفاهيم التي تمت صياغتها باستخدام الكومبيوتر الذي وقع عليه الاختيار ليكون «ذكيّاً»! وينتج عن ذلك «النموذج الأول» للنظام الخبير. .

ويقال «النموذج الأول» لأن الأمر قد يتطلب هدم النموذج برمته وإعادة بناء نموذج جديد لا سيما إذا استدعى الأمر إعادة صياغة المفاهيم من جديد.

وتعتبر عملية إنشاء نظام خبير - لهذا السبب - فناً من الفنون بقدر ما هي علم من العلوم، بمعنى أن الالتزام بالقواعد لا يسفر بالضرورة عن نظام خبير جيد، تماماً مثل فن الرسم والنحت والموسيقى حيث يتطلب الإبداع في هذه المجالات عاملاً آخر خلاف الدراسة والالتزام بالقواعد.

لذلك قد يعتبر النموذج الأول مجرد تقييم للجهد المبذول ومقياس للتقدم الذي أحرزه المصمم والذي يرشده إلى ما يجب أن يتبع لتطوير «النموذج الثاني». .

ومن العقبات المتوقعة أن يكتشف مهندس المعرفة أنه لم يستخدم الأدوات والتكنيكات المناسبة التي تتكامل مع بعضها البعض في تمثيل المعرفة بالأجزاء الفرعية للنظام.

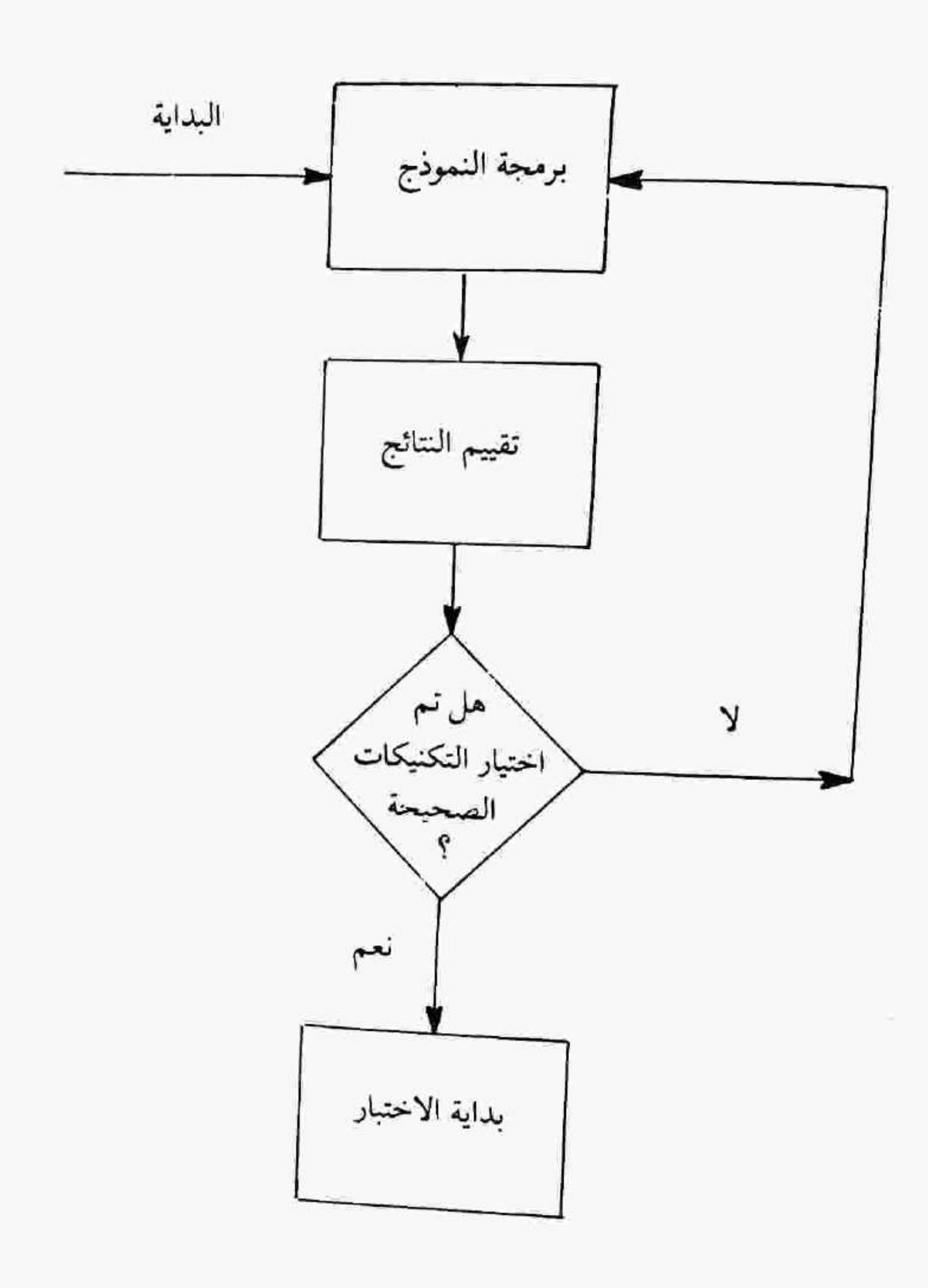
ويوضح شكل (٢ - ٨) خطوات العمل المعبرة عن مرحلة التطبيق والتي تنتهي بالمرحلة النهائية وهي «الاختبار».

(٢ - ٤ - ٥) الاختبار Testing

يقوم مهندس المعرفة باختبار النموذج من النواحي الآتية:

- صحة التطبيق.
- كفاءة وإكتمال صياغة القواعد.

ونجاح الاختبار معناه أن يقدم النظام الخبير حلولاً للمشكلات كالتي يقدمها خبير من البشر! لذلك لا يعد النموذج ناجحاً إلاّ عندما تتطابق الحلول التي يقدمها مع حلول خبير المجال.



شكل (٢ - ٨) مرحلة التطبيق

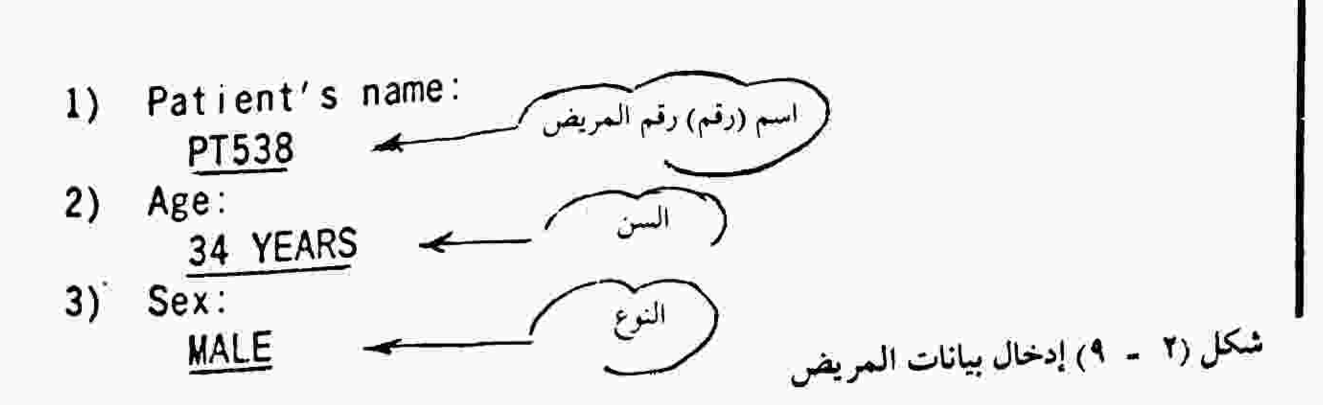
(٢ ـ ٥) إستخدام النظام الخبير

عـادة يتم التعامـل مع النـظم الخبيرة في صـورة حوار، يـوجه إليـك الكومبيوتـر العديـد من الأسئلة حتى يصل إلى الحـد الذي يستـطيع فيـه أن يجيبك الإجابة الشافية.

وهذا مثال للحـوار الدائـر بين المستخدم وبين النـظام الطبي الخبيـر «MYCIN» الذي يرشدك إلى الدواء والعلاج من أمراض الدم البكتريولوجية.

● **مثال من النظام الطبي الخبير «مايسين»**

يبدأ النظام «مـايسين» عادة بـأسئلة عامـة كالتي يبـدأ بها الـطبيب عن الاسم والسن والنوع. ويوضح شكل (٢ ـ ٩) الشاشة الأولى التي تحتوي على هذه الأسئلة ولا يفوتنا ملاحـظة أنها أسئلة مـرقّمة تسـاعد النـظام على الرجوع إليها عند الحاجة.



شكل (٢ ـ ٩) إدخال بيانات المريض

وفي هذا النظام تظهر أسئلة الكومبيوتر بالحروف الصغيرة (small) فيما عدا بعض الأسماء والبدايات، أما إجابات المستخدم فتظهر بالحروف الكبيرة (capital) وقد وضعنا تحتها خط لتمييزها أثناء القراءة.

ثم يبدأ بعد ذلك النظام «مايسين» في الاستفسار عن أعراض المرض ونتائج التحليلات والعلاجات الحالية، كالأمثلة الموضحة شكل (٢ - ١٠)، (٢ - ١١).

```
6)  Please enter the results of pending cultures in the
    following table.
                      culture        date          stain
         site         number         collected     examined
         CSF          1234           30-JAN-77     YES
```

بيانات التحليلات ← CSF

شكل (٢ - ١٠) إدخال نتائج التحليلات الطبية

```
10) Do you suspect PT538 may have an infection at a site from
    which you have not obtained culture specimens?
      NO
11) Please enter information on current antimicrobials.
    drug                route of
    name                administration        date
    CEPHALOTHIN         IV                    started
                                              23-JAN-77
15) Has PT538 recently had objective evidence of abnormal
    neurologic signs (nuchal rigidity, coma, seizures, etc.)
    documented by physician observation or examination?
      YES
The CSF cultures will be considered to be associated with
MENINGITIS.
```

العلاج الحالي ← CEPHALOTHIN

تشخيص الكومبيوتر ← MENINGITIS

شكل (٢ - ١١) الاعراض، العلاج الحالي والتشخيص

● تشخيص المرض

وكمـا نرى من الحـوار على الشاشـات السابقـة أن تشخيص الحـالـة المـرضية الـذي أدلى به النـظام الخبيـر بعـد السؤال رقم ١٥ هـو المـرض «MENINGITIS».

وحتى هـذه النقطة فلعـل القـارىء قـد لاحظ أن الحـوار الـدائـر بين المستخدم وبين النظام الخبير يشبه الحوار الدائـر بين طبيبين أكثر ممـا يشبه الحوار الدائر بين طبيب ومريض. فالنظام الخبير مايسين يجب أن يستخـدم بواسطة طبيب متخصص لمعاونته على التشخيص إذا كان **لا يعرف الحالة** أو لتأكيد التشخيص إذا **كان يعرف** ولكنه في شك من الأمر.

وهذه العملية تشبه إلى حد كبير «**الكونسلتو**» عندما يجتمع الأطباء معاً للتشاور في تشخيص حالة مرضية معيّنة. والأسئلة التي يلقى بها النظام الخبير ليست ثابتة بل تتغير بحسب إجابات الطبيب. **وهذا فارق أساسي بين برنامج عادي يسأل أسئلة روتينية وبين برنامج ذكي يـرتفع إلى مستـوى الحوار مـع المستخدم.**

● أسباب المرض

المرحلة التالية يحاول فيها النظام الخبير أن يحدّد أسباب المرض الذي تم تشخيصه وذلك بالاستمرار في إلقاء الأسئلة وجمع المزيد من المعلومات كما في شكل (٢ ـ ١٢)، (٢ ـ ١٣).

وتبدو لنا ملاحظة هامة هنا أن **النظام الخبيـر بخلاف البـرامج العـادية يستطيع الخروج بالنتيجة المطلوبة حتى إذا لم تكتمل لـديه كـل البيانـات.** فالسؤال رقم (٢٧) يحتوي على معلومة ناقصـة كان المفـروض أن يدخلهـا الطبيب ولكنه كتب بدلاً منها كلمة «UNKNOWN» بمعنى غير معروف.

17) Does PT538 have an abnormal chest X-ray?
NO
26) Has PT538 been exposed to any contagious disease recently (e.g. meningococcal disease, mumps)?
NO
27) Please enter CSF findings in the following table.

CSF WBC	Percent PMN	Protein	CSF Glucose	Peripheral Glucose
100	99	280	5	UNKNOWN

معلومة ناقصة

شكل (٢ - ١٢) إدخال بعض الإجابات وبها معلومات غير مكتملة

35) Is meningitis a hospital-acquired infection?
YES
39) Is PT538 a burn patient?
YES

القواعد التي يستند عليها

I have found evidence (RULE545 RULE557) that treatment should cover for E.coli causing meningitis.
I have found evidence (RULE545 RULE557 RULE578) that treatment should cover for Pseudomonas-aeruginosa causing meningitis.
I have found evidence (RULE545 RULE557) that treatment should cover for Klebsiella-pneumoniae causing meningitis.
I have found evidence (RULE507) that treatment should cover for Diplococcus-pneumoniae causing meningitis.

شكل (٢ - ١٣) أسباب المرض كما «يعتقد» النظام الخبير

وهـذه خاصيـة فريـدة وعلى درجة من الأهميـة، فأنت إذا لم تستـطع الإجابة على أحد أسئلة الطبيب أثناء زيارتك لعيادته فليس من المتوقع أبداً أن يكون هذا سبباً لعدم إستطاعته تشخيص المرض ووصف العلاج.

ولأن النظام الخبير «مايسين» خبير بـالفعل فهـو يسير على منهـج كبار الأطباء في الإدلاء بالرأي ولا يتسرع بالإدلاء برأي متعجّل بثقة وحماس كما يفعل بعض المبتدئين بهدف إثبات الجدارة!

فهو يقرر صراحة أنه لا يعرف أسباب المرض على وجه التحديد! لكنه يعتقـد في إربعة إحتمـالات! (I have found evidence...) وسبب ذلك يـرجع بالطبع إلى أن النظام الخبير لديه نقص معيّن في المعلومات، ولكن حتى مع البشر فليس هناك عالم يعرف كل شيء، «وفوق كل ذي علم عليم».

● وصف العلاج

بعد تحديد المرض، وأسبابه المحتملة، يستمر النظام الخبير في إلقاء الأسئلة حتى يتمكن من وصف العلاج المناسب، وهي أسئلة عادة ما يسألها الأطبـاء عندمـا يشـرعـون في وصف العـلاج مثـل «هـل لـديـك حسـاسيـة للبنسلين؟». شكل (٢ - ١٤).

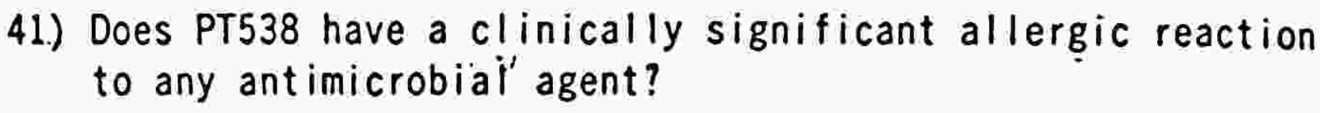
ويستـطيـع الخبيـر «مـايسين» أيضـاً أن يقـدم بـدائـل مختلفـة للدواء الموصوف، ففي بعض الأحيان قد يصف الطبيب دواء ثم لا يستطيع المريض الحصول عليه لعدم توفره في الصيدليات أو لأي سبب آخر. لذلك فـالنظام الخبير يكتب الروشتة في صورة توصيات: التوصية الأولى والثانية وهكذا... أنظر شكل (٢ - ١٦).

My therapy recommendations will be designed to treat for organisms that either are very likely or, although less likely, would have a significant effect on therapy selection if they were present. It is important to cover for the following possible infection(s) and associated organism(s):

INFECTION-1 is MENINGITIS

+ <ITEM-1> E.COLI
+ <ITEM-2> PSEUDOMONAS-AERUGINOSA
+ <ITEM-3> KLEBSIELLA-PNEUMONIAE
+ <ITEM-4> DIPLOCOCCUS-PNEUMONIAE

الأسباب المحتملة للمرض



41.) Does PT538 have a clinically significant allergic reaction to any antimicrobial agent?

NO

هل لدى المريض حساسية تجاه
أي مضاد حيوي؟

شكل (٢ - ١٤) خطة وصف العلاج

شكل (٢ - ١٥) توصيات العلاج والجرعة وإرشادات الاستعمال

43) PT538's weight in kilograms:

70

وزن المريض

RECOMMENDATION-1 التوصية الأولى

My preferred therapy is as follows:

In order to cover for items <1 2 3 4>:

Give the following in combination:

1) AMPICILLIN

Dose: 3.5g q4h IV

الدواء والجرعة

2) GENTAMICIN

Dose: 119 mg q8h IV plus consider giving 5mg q24h Intrathecal

Comments: Monitor serum concentrations

Since high concentrations of penicillins can inactivate aminoglycosides, do not mix these two antibiotics in the same IV bottle.

ملاحظات على طريقة الاستعمال

```
Looking at the coverage of the "most likely" items, we see
that:
    RECOMMENDATION-1 consists of 1 first choice drug
    (AMPICILLIN for ITEM-1 and ITEM-4) and 1 third choice drug
    (GENTAMICIN for ITEM-1, ITEM-2, and ITEM-3).
    RECOMMENDATION-2 consists of 1 first choice drug
    (PENICILLIN for ITEM-4) and 1 third choice drug
    (GENTAMICIN for ITEM-2, ITEM-1, and ITEM-3).
ORGANISMS     RECOMMENDATION-1                    RECOMMENDATION-2
ITEM-1        AMPICILLIN-AND-GENTAMICIN-1st       GENTAMICIN-3rd
ITEM-2        GENTAMICIN-2nd                      GENTAMICIN-2nd
ITEM-3        GENTAMICIN-3rd                      GENTAMICIN-3rd
ITEM-4        AMPICILLIN-1st                      PENICILLIN-1st
```

شكل (٢ - ١٦) البدائل المختلفة للدواء

● تفسير النتائج

من الخصائص الهامة للنظام الخبير أن يقدم تفسيراً لكل توصياته، ولو أن مريضاً كان هو الذي يستخدم الجهاز فربما في هذه الحالة لن يهتم المريض بالتفسير فأكثر ما يهم المريض هو الشفاء!

أما إذا كان المستخدم طبيباً فهو لن يستطيع قبول نتيجة ما بدون أن يفهم التفسيرات المؤدية لها لا سيما أن المسئولية دائماً يتحملها الطبيب وليس الكومبيوتر!

كما أن هذه الخاصية تسهل عمل من يقومون بتصميم النظام الخبير أثناء الاختبارات المختلفة التي تجرى عليه.

والنظام الخبير الذي نحن بصدد الحديث عنه الآن يستطيع أن يقدم نوعين من التفسير فهو يستطيع أن يخبرك عن السبب الذي يجعله يسألك سؤالاً معيّناً.

كما يستطيع أن يخبرك بكيفية وصوله إلى نتيجة ما.

وعلى سبيل المثال فقد سأل النظام «مايسين» ضمن أسئلته إذا ما كان المريض قد اكتسب المرض في مستشفى من المستشفيات. وقد إندهش المستخدم قليلاً لهذا السؤال حيث لم يستطع الربط بينه وبين الحالة التي يبحثها فسأل الكومبيوتر: «لماذا تسألني هذا السؤال» وهذه هي الإجابة؛ شكل (٢ - ١٧).

```
35) Is meningitis a hospital-acquired infection?
      WHY   <-------  لماذا تسأل هذا السؤال
(2.0) This will aid in determining the organisms (other than
    those seen on cultures or smears) which might be causing
    the infection. It has already been established that
    (2.1) the infection which requires therapy is meningitis.
       and
    (2.2) organisms were not seen on the stain of this pending
       CSF culture, and
    (2.3) the type of the infection is bacterial, and
    (2.4) neurosurgery is not one of the relevant items from
       the history of PT358, and (2.5) the age of PT538 is
       greater than 10 days
Therefore, if
    (2.6) the infection was acquired while the patient was
       hospitalized
then
    there is evidence that the organisms (other than those seen
       on cultures or smears) which might be causing the
       infection is e.coli (.75) staphylococcus-coag-pos (.3)
       pseudomonas-aeruginosa (.3) klebsiella-pneumoniae (.5).
```

شكل (٢ - ١٧) التفسيرات التي قدمها النظام الخبير رداً على السؤال «لماذا تسأل هذا السؤال؟»

ونلاحظ أن النظام عندما يسرد الحقائق المختلفة يمنحها أرقاماً مسلسلة مثل (2.3)، (2.4)، . . وباستخدام هذه الأرقام يمكنك أن تسأله مرة أخرى عن كيفية وصوله إلى نتيجة معينة. فإذا كتبنا له السؤال:

HOW 2.3

بمعنى «كيف وصلت للنتيجة رقم 2.3؟» عندئذ سيقدم لنا الأسباب التي جعلته يصل إلى هذه النتيجة، وهو عادة ما يقدم «لسته» بقواعد الإنتاج (pro- duction rules) التي أدّت إلى هذه النتيجة.

كما نلاحظ أيضاً في هذا المثال أن النظام يمنح النتائج المحتملة نسبة عددية معبرة عن درجة الاحتمال. فهو يشرح هنا أنه لو صحّت العبارات من (2.1) إلى (2.6) فإن هناك إحتمالاً قدره 75٪ أن يكون سبب المرض هو «E.COLI» بينما يوجد إحتمال قدره 30٪ فقط أن يكون السبب «staphylococ- cus—coag pas» أو «pseudomonas aeruginosa» وهي كلها أسماء لأنواع مختلفة من البكتريا المسببة للأمراض.

(٢ - ٦) النظم الخبيرة المبنية على النماذج
model - bassed Expert Systems

إن النظم الخبيرة أمثال النظام «مايسين» تنتمي إلى نوعية شائعة تسمّى بالنظم الخبيرة المبنية على القواعد (rule - based) وهي تتميّز باعتمادها على الخبرة الإنسانية المختزنة في صورة قواعد إنتاج كما رأينا.

أما الاتجاه الآخر لإنشاء النظم الخبيرة فهو النظم المبنية على النماذج وهذه النظم تعتمد على إنشاء نماذج كاملة للأجهزة المراد فهمها، لذلك فهي تصلح لتشخيص أعطال الأجهزة أكثر مما تصلح لتشخيص الأمراض.

فمن النظم الخبيرة الموجودة بالفعل، تلك النظم التي تستخدم في تشخيص أعطال الكومبيوتر، ومثل هذا النظام يحتوي على نموذج متكامل لجهاز الكومبيوتر.

وحتى يتضح الفارق بين الأسلوبين في الأداء دعنا نضرب مثلاً من الحياة. فلو أن مهندساً ذا خبرة طويلة في إصلاح أجهزة الكومبيوتر قد استدعى لتشخيص أحد الأعطال التي حدثت للكومبيوتر أثناء العمل. فإنه سوف يلقى نظرة على الشاشة وربما يعطى أمراً أو أكثر ويشاهد ردود الكومبيوتر التي يرسلها ثم يتجه إلى صناديق الجهاز ويفتحه، وقد يُحدّق للحظة في لوحات الدوائر الاليكترونية الموجودة، ثم ينزع إحداها ويستبدلها ثم يغلق الصندوق ويبدأ الكومبيوتر في العمل.

المبنية على القواعد.

هذا الأسلوب يشبه تماماً أسلوب النظم الخبيرة المبنية على القواعد.

فلنر معاً الأسلوب الآخر عندما يكون المهندس المكلف بالإصلاح مهندساً جديداً حديث التخرج. إنه سوف يشاهد بدقة كل ما هو على الشاشة، ثم يفتح كتاباً غليظاً يحتوي على الدوائر الإليكترونية ومعلومات مختلفة عنها. وسوف يقضي نصف ساعة على الأقل مُنْكبّاً على أوراقه وكتبه وقد يجري بعض القياسات قبل أن يستبدل لوحة الدوائر الأليكترونية العاطلة ويبدأ الكومبيوتر في العمل.

هذا الاسلوب هو الاسلوب المبني على النماذج، فالمهندس الحديث لا خبرة لديه يعتمد عليها في التشخيص والإصلاح لكنه يستعين بمعلوماته الدراسية ويكمّلها بالقراءة في الكتالوجات والدوائر الاليكترونية حتى يفهم كيف يعمل الجهاز؟ وما هي الأسباب المحتملة للعطل الحادث؟. أي أنه يبدأ دائماً من المبادىء الأوليّة.

فإذا أتينا إلى المناظرة بين النوعين. نجد أن المهندس البارع ذا الخبرة الطويلة قد أنجز المهمة في لحظات بينما استغرق الآخر وقتاً طويلاً في القراءة والتفكير والقياسات. لكنه من وجهة نظر أخرى فالمهندس ذو الخبرة عادة تقتصر خبرته على طراز واحد من طرازات الكومبيوتر فإذا أقدم على إصلاح طراز آخر عجزت الخبرة أن تسعفه. أما المهندس الحديث فهو مع كل طرازات الكومبيوتر سوف يعمل بنفس الأسلوب ويقرأ ويفكر ويجري القياسات ثم يقوم بالإصلاح. كذلك الحال مع النظم الخبيرة.

فالنظام الخبير المبني على القواعد (الخبرة) الذي أنشىء لتشخيص أعطال أحد طرازات الكومبيوتر لن يصلح إلاّ لهذا الطراز. أما إذا كان النظام الخبير مبنياً على النماذج فإنه يصلح لتشخيص أعطال كل الطرازات لأنه

يعتمد على فهم التصميم ونظرية العمل أي يعتمد على البداية من المبادىء الأولية.



شكل (٢ - ١٨) الإصلاح من المباديء الأوّلية

(٢ - ٧) أشهر النظم الخبيرة

١ . دندرال DENDRAL

يعتبر هذا النظام الخبير أول النظم الخبيرة على الإطلاق وقد تم تصميمه وإنشاؤه في الستينيات بجامعة ستانفورد (stanford) وهو نظام متخصص في الكيمياء ويستطيع معاونة الكيميائيين في تحديد التركيب الجزئي للمواد غير المعروفة.

٢ . ماكسيما MAXIMA

أما هذا النظام فكما يوحى به الاسم - خبير في الرياضيات وهو يؤدي عمليات المعالجة الرمزية للمصطلحات الرياضية وقد صمم في السبعينات بمعرفة شركة MIT.

٣ . بروسبكتور PROSPECTOR

صمم هذا النظام في السبعينات بشركة SRI وهو يختص بمعاونة الجيولوجيين في البحث عن المعادن النفيسة.

٤ . إكسكون XCON

أما هذا النظام فهو من النظم الحديثة التي صممت في الثمانينيات بشركة DEC وهو يعاون الفنيين على التعامل مع الميني كومبيوتر.

٥ . النظام مايسين MYCIN

هذا هو النظام الخبير في الطب والدواء الذي عرضناه في هذا البـاب وهو يقوم بتشخيص وعلاج أمراض الدم المعدية. وقد صمم بجامعة ستانفورد في السبعينات.

ويتميز هذا النظام بأن ماكينة الاستدلال به منفصلة عن قاعدة المعرفة بحيث يمكن إستخـدامهـا مـع أي نـظام آخـر وهي تحمـل إسمـاً منفصـلاً EMYCIN وهو إختصار للعبارة:

Enpty MYCIN

بمعنى مايسين «الفارغ» من المعرفة.

تذكر هذه المصطلحات (مرتبة حسب ورودها في الباب)

expert system	نظام خبير
knowledge base	قاعدة معرفة
data base	قاعدة بيانات
declarative knowledge	معارف إخبارية
procedural knowledge	معارف منهجية
inference engine	ماكينة الاستدلال
production rules	قواعد الإنتاج
rule—based systems	النظم المبنيّة على القواعد
user interface	الوصلة البينية للمستخدم
control structure	منشأ التحكم
rule interpreter	مترجم القواعد
knowledge engineer	مهندس المعرفة
domain expert	خبير المجال
indentification	التعريف (بالمشكلة)
conceptualization	تكوين المفاهيم
formalization	الصياغة
Implementation	التطبيق
testing	الاختبار
model—based systems	النظم المبنية على النماذج

الخلاصة

١ . إن النظم الخبيرة تمثل الخبرات الإنسانية في مجالات معينة وهي تساعد المتخصصين بصفة عامة، كما تساعد الناس الذين يتعذر عليهم إستشارة خبير في مشكلة ما.

٢ . تتكوّن قاعدة المعرفة للنظام الخبير من معارف إخبارية ومعارف منهجية، وقد تكون المعارف في صورة قواعد إنتاج.

٣ . تقوم ماكينة الاستدلال بالنظام الخبير بالتحكم في عمل النظام.

٤ . الوصلة البينية للمستخدم هي الصلة بين الإنسان والنظام الخبير وهي قد تستخدم اللغة الطبيعية لتسهيل الاتصال.

٥ . في مرحلة «التعريف» يقوم مهندس المعرفة بالتعاون مع خبير المجال لتحديد خصائص المشكلة.

٦ . في مرحلة «تكوّن المفاهيم» قد يتم إستخدام الرسومات للتعبير عن العلاقات المختلفة بين أجزاء المشكلة.

٧ . في مرحلة «الصياغة» يتم تحليل العلاقات المستنتجة في مرحلة تكوين المفاهيم بغرض توصيل المشكلة إلى الحل المقترح.

٨ . في مرحلة «التطبيق» يتم إنشاء نموذج مبدئي ويتم تقييمه.

٩ . في مرحلة «الاختبار» يتم تقييم النظام لتحديد ما إذا كان التطبيق سليماً.

١٠ . يُستخدم النظام الخبير من خلال الأسئلة والأجوبة، وهو نظام يسمح للكومبيوتر بأن يعلل ويشرح الأسباب.

١١ . النظام المبنى على النماذج يحتوي على نموذج لجهاز ما بحيث يسمح بتشخيص الأعطال من المبادىء الأولية.

الباب الثالث

الحوار مع الكومبيوتر بالصوت

Speech Recognition and Synthesis

مفتتح

رغم أن كل ما يحتويه الإنسان من معارف وخبرات يعتمد في تكـوينه على الحواس التي يستقبل بها المعلومات من العالم الخارجي. ومـع ذلـك فليس العقـل هـو الحـواس كمـا يـدعي بعض المكـابـرين من الفلاسفة!

فالحواس هي مجرد أجهزة لاستقبال المعلومات من العـالم الخارجي شأنها شأن إيريال التليفزيون وميكروفون جهاز التسجيل!

أما العقل فهو الوسيلة التي نعالج بها المعلومات المستقبلة بالحواس. والعقـل لغز من ألغـاز الكون الـذي نعيش فيه بـل لعله أكثـر الألغـاز غموضاً. فالعقل لا يتعامل فقط مع الأرقام أو الرموز بل إن لديه القدرة على التجـريد والتعـامل مـع الحقائق المجـردة مثل الحـريّة. والحق والخير والجمال.

وفي مجال الكومبيوتر فقد كان من السهل أن تضاف إليه الحواس مثل السمع والبصر، ولكن التحدي المعضل الذي واجه الباحثين هو كيفية إكساب الكومبيوتر بعض صفات العقل حتى يعي ما يسمع وما يرى.

وقد تحققت مكاسب كثيرة في هذا المجال، ولكننا لا نتوقع بحال أن يأتي يوم على الكومبيوتر فيعرف أنه موجود!.

(٣ - ١) التحدث إلى الكومبيوتر

لا شك أن محادثة الكومبيوتر «شفهياً» أفضل من محادثته بالكتابة على لوحة الأزرار وتلقى الإجابة على الشاشة. فالاتصال الشفهي هو الوسيلة الطبيعية للاتصال بين الناس فضلاً عن أنه يقدّم كثيراً من التسهيلات في مجال إستخدام الكومبيوتر حيث أنه يحقق المميزات الآتية:

■ سهولة الاتصال:

رغم ما يبذله الباحثون من جهد في مجال «معالجة اللغة الطبيعية» حتى يستطيع أكبر عدد من الناس أن يتعامل مع الكومبيوتر بدون الحاجة إلى تعلم لغات خاصة للبرمجة. لكن إستخدام لوحة الأزرار لا زال يمثل عقبة أمام البعض إذ أنها تتطلب بعض المهارة في إستخدامها. كما أن الكتابة في حد ذاتها قد تمثل عقبة أمام البعض. فالناس جميعاً يتكلمون لكن الأغلبية فقط هم الذين يجيدون الكتابة والقراءة!

لذلك فإن الكومبيوتر الذي يسمع ويتحدث سوف يكون في متناول الجميع.

■ السرعة:

ما هو أسرع معدّل تستطيع أن تصل إليه سكرتيرة في الكتابة على الآلة الكاتبة؟ مائة كلمة في الدقيقة؟

لا شك أن هذه السكرتيرة البارعة تستطيع أن تتكلم أسرع مما تكتب!

■ **حرية اليدين:**

إن المحادثة الشفهية مع الكومبيوتر سوف يصحبها تحرير اليدين من العمل طوال الوقت. زد على ذلك أن بعض الأعمال الروتينية التي يمارسها الإنسان بيديه قد لا تحتل تفكيره على الإطلاق مثل عمليات التجميع اليدوي للمنتجات. وفي هذه الحالة فإن الإنسان يستطيع إستخدام الكومبيوتر في نفس الوقت الذي يمارس فيه عملاً يدوياً.

■ **الاتصال على بعد:**

من مميزات إستخدام الصوت في التعامل مع الكومبيوتر هو إمكانية الاتصال عن بعد لا سيّما بقواعد البيانات. وقد يتم ذلك بوسيلة مثل التليفون.

أما الاستخدامات المتوقعة للاتصال الشفهي بين الإنسان والكومبيوتر، فمن المنتظر أن تغطى مجالات متعددة في الحياة العملية نذكر منها الآتي:

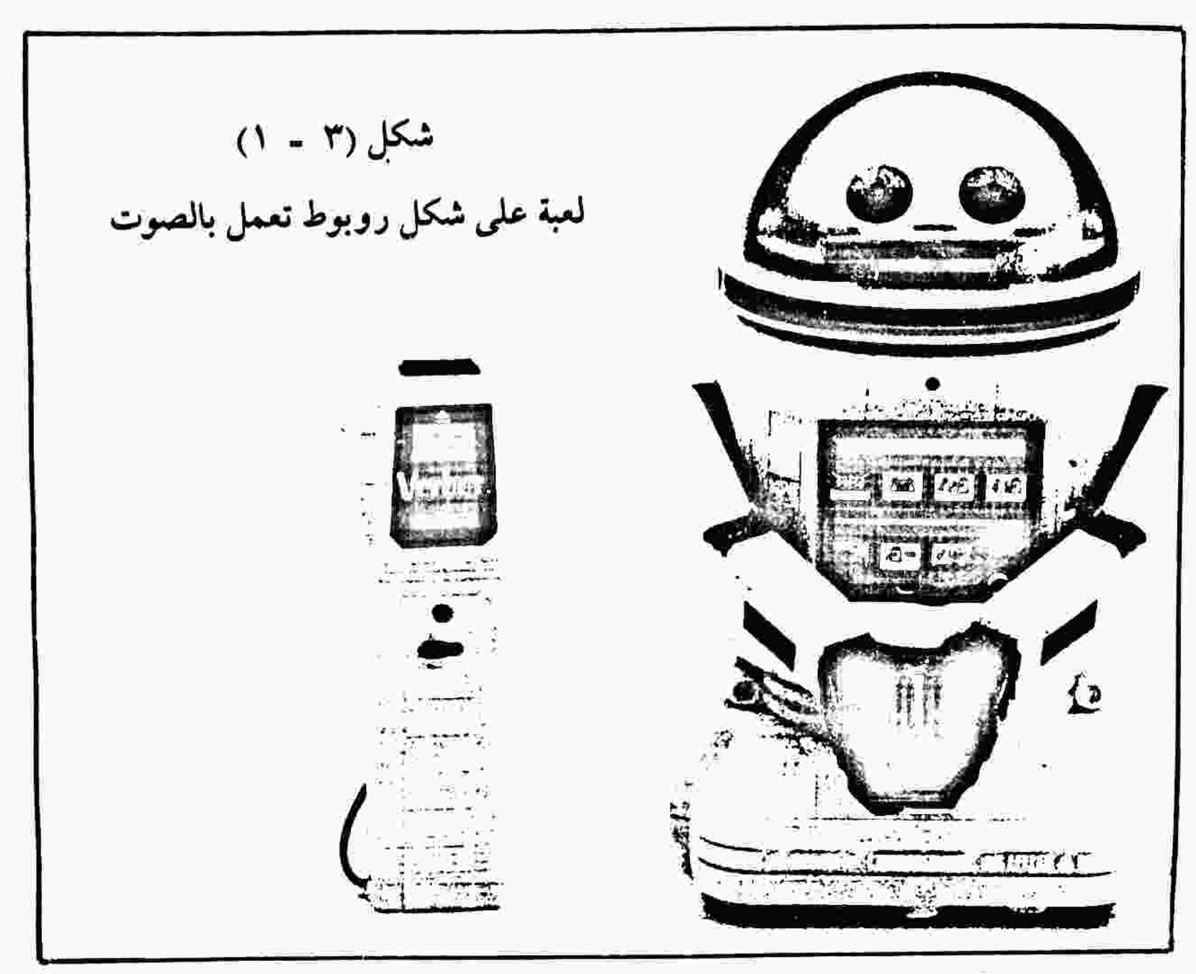
(١) الاستخدامات الطبية:

لا سيّما في مجال مساعدة المعوقّين سواء في مجال تعليم المعوقين أو خدمتهم بمساعدتهم على إستخدام الكومبيوتر في تحرير الرسائل والمكاتبات بدون إستخدام اليدين.

(٢) في الترفيه والتعليم:

يخدم هذا التطوير في إنشاء الألعاب الكومبيوترية الحيّة التي يتحدث فيها اللاعب مع الكومبيوتر، كما يخدم في إنشاء الروبوط الترفيهي للأطفال الذي يمكن التحكم فيه بالصوت.

أما في مجال التعليم فلعل الكثير منا قد إستخدم أو رأى أجهزة التعليم المتحدثة التي أنتجتها شركة «تكساس انسترومنتس» منذ فترة طويلة مثل «speak & spell» . ومع ذلك فهناك مزيد من التطوير يمكن إضافته إلى هذه الأجهزة بإضافة خاصية التعرف على الصوت البشري هي أيضاً.



شكل (٣ - ١)
لعبة على شكل روبوط تعمل بالصوت

(٣) ميكنة المكاتب:

لعل أهم التطبيقات المكتبية على الإطلاق هي الآلة الكاتبة بالصوت والتي يمكنك أن تملي عليها الخطاب فتكتب كأسرع ما تكون سكرتيرة على الآلة الكاتبة. ورغم أن هذا التطبيق لا يزال في معامل الأبحاث ولم يخرج بعد إلى الأسواق، لكنه يُعدّ من أعظم التطبيقات التي يبشّر بها استخدام الذكاء الاصطناعي، فالكومبيوتر في هذه الحالة يحل محل السكرتيرة لكنه لا يتقاضى أجراً ولا يفاجئك ذات يوم بأنه يحتاج لإجازة عارضة لعذر طارىء!

(٤) الأمـن :

من التطبيقات الهامة في مجال الأمن «البصمة الصـوتية» لـلأشخاص وهي تسجيل الملامح الخاصة لصوت شخص معيّن تماماً كتسجيل بصمات الأصابع .

(٥) التحكم في الروبوطيات

من الإمكـانات المفيـدة التي يمكن أن يتمتع بهـا الروبـوط هي تلقي الأوامر بالصوت البشري ولا شك أن الروبـوطيات الصنـاعية والـروبوطيـات الحربية تستفيد كثيراً من هذه الخاصية . فالـروبوطيـات الحربيـة التي تختبر حقـول الألغام أو التي تتقـدم الجيوش في المنـاطق الخطرة يمكن تـوجيهها بالأوامر الصوتية من القائد مثلها مثل الجنود الحقيقيين .

والروبوط الصنـاعي أو الحربي يحتـاج إلى حاسـة البصر عـلاوة على حاسة السمع وسوف نناقش موضوع الروبوطيات تفصيلاً في الفقرات التالية .

والاتصال الشفهي بالكومبيوتر يعني أمرين :

- توليد الكلام (الصوت الاصطناعي) Speech Synthesis
- التعرف على الكلام (الصوت البشري) Speech Recognition .

أما توليد الكلام بالكومبيوتر فهو موضوع كاد أن يصبح كلاسيكياً حيث أن معظم أجهزة الكومبيوتر الصغيرة يمكنها أن تولّـد الكلام بـإضافـة صغيرة إليها . ولا يعد موضوع توليد الكلام من موضوعات الذكاء الاصطناعي لكنـه مع ذلك يشغل الباحثين من وجهة معينة وهي جعل الكومبيوتر يفهم ما يقول!

.وفي الفقرة القادمة سوف نتحدث عن التفصيلات الفنية لتوليد الكلام والتعرف على الكلام بالكومبيوتر .

(٣ - ٢) صناعة الكلام Speech Synthesis

هناك طريقتان لصناعة الكلام بالكومبيوتر:

(١) توليد الكلمات.

(٢) توليد «الفونيمات» (جمع فونيمة، وهي إحدى وحدات الكلام الصغرى مثل الحرف P في كلمة pin أو الحرف f في كلمة fin).

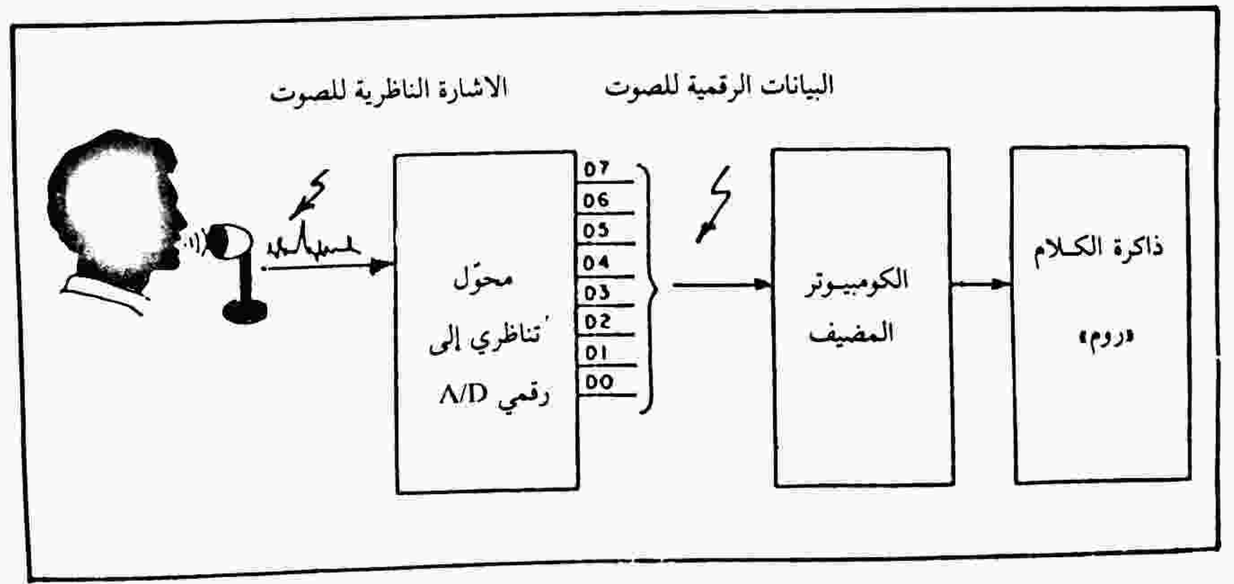
أما الطريقة الأولى فيطلق عليها الاسم العام «صناعة الكلام» أو توليد الصوت الاصطناعي (speech synthesis) وهي عبارة عن تسجيل الكلمات في الكومبيوتر. لذلك فهذه الطريقة تسمح بتسجيل عدد محدود من الكلمات كما في أجهزة تعليم اللغة حيث يحتوي الجهاز على عدد معيّن من الكلمات التي ينطق بها الكومبيوتر. أما الطريقة الثانية فهي تعتمد على إختزان الوحدات الأساسية للكلام (وهي الفونيمات) على شريحة ذاكرة ROM، وبتجميع هذه الفونيمات معاً يمكن توليد أي كلمة من الكلمات وبأية لغة من اللغات.

وبالطبع فإن لكل طريقة ميزة تتميز بها على الأخرى. فمع طريقة توليد الكلمات عادة ما تكون الكلمة المنطوقة بالكومبيوتر أكثر وضوحاً للمستمع. ولعل من استخدم أحد الألعاب التعليمية التي أنتجتها شركة تكساس على الكومبيوتر (TI—9914A) مثل الكارتريدج spelling (أو ما يماثله)، قد لاحظ

جودة نطق الكلمات بمقارنتها بالكارتريدج emulatorII لنفس الشركة والذي يُستخدم لتوليد عدد غير محدود من الكلمات. والطريقة الأولى تعتمد على تحويل الصوت البشري من الصورة التناظرية (analog) إلى الصورة الرقميّة (digital) وتخزينه في شريحة ذاكرة «روم» (ROM). وعملية تسجيل الإشارة الرقمية للصوت يمكن أن تستهلك ذاكرة الكومبيوتر بالكامل لذلك فإن هناك أسلوباً معيناً للتخزين وهو ضغط الإشارة الصوتية. والمقصود بضغط الإشارة الصوتية هو إستخراج أهم خواص الصوت المراد تسجيله مثل التردد والشدة، وتشفير هذه الخواص بطريقة معيّنة وإختزانها بدلاً من إختزان الصوت نفسه.

وعادة ما يتم تكويد وتخزين الصوت باستخدام كومبيوتر مُضيف (كومبيوتر كبير) وبالاستعانة بأحد المذيعين الذين يتمتعون بسلامة اللغة وجودة الإلقاء.

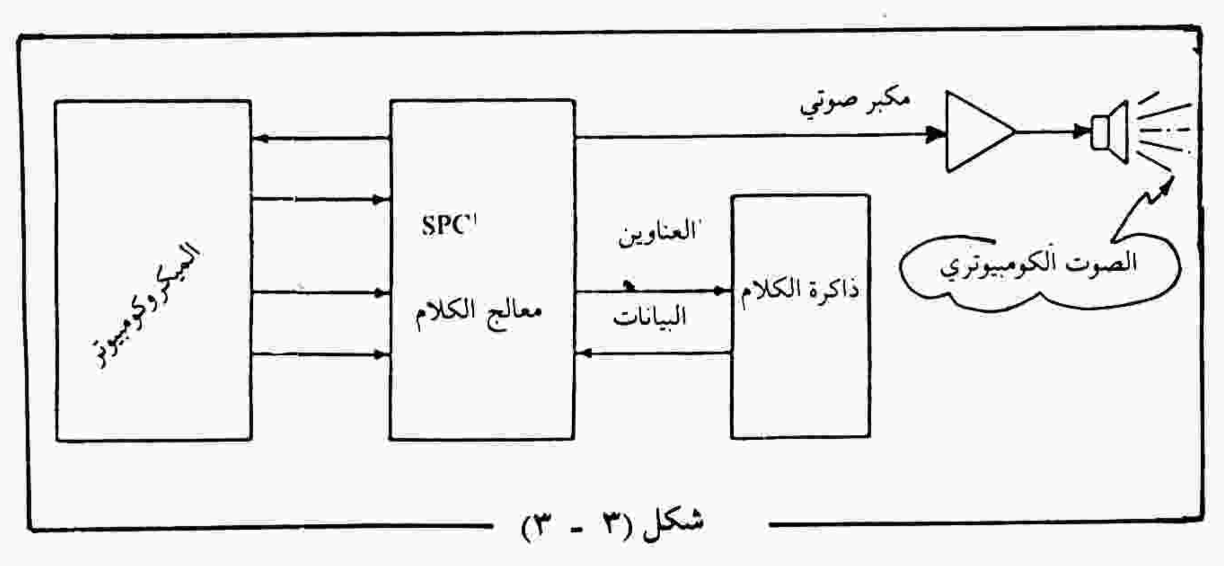
ويوضح شكل (٣ - ٢) العمليات المتتابعة لتخزين الصوت البشري على ذاكرة «روم» يطلق عليها ذاكرة الكلام (speech ROM). وهي عبارة عن شريحة دائرة متكاملة (IC) تستخدم فيما بعد كإضافة للكومبيوتر.



شكل (٣ - ٢) عملية تكويد (تشفير) وتسجيل الصوت

وتتم هذه العملية عادة على مستوى تجاري كبير بشركات الكـومبيوتـر التي تملك هذه الإمكانيات لكنها بحال أكبر من أن يقوم بها الهواة من حيث التكاليف. ومع ذلـك فالشـركات المتخصصـة في هذه الصنـاعة تقـوم بهذه العملية كتجارة نظير أجر يصل إلى مائة دولار لتسجيل كلمة واحدة في ذاكرة الكلام.

أما عملية إسترجاع الكلمات المسجلة فهي تستلزم إضافة ذاكرة الكلام (speech ROM) ومعـالـج الكـلام SPC (speech processor chip) إلى جهـاز الكومبيوتر كما في شكل (٣ - ٣).



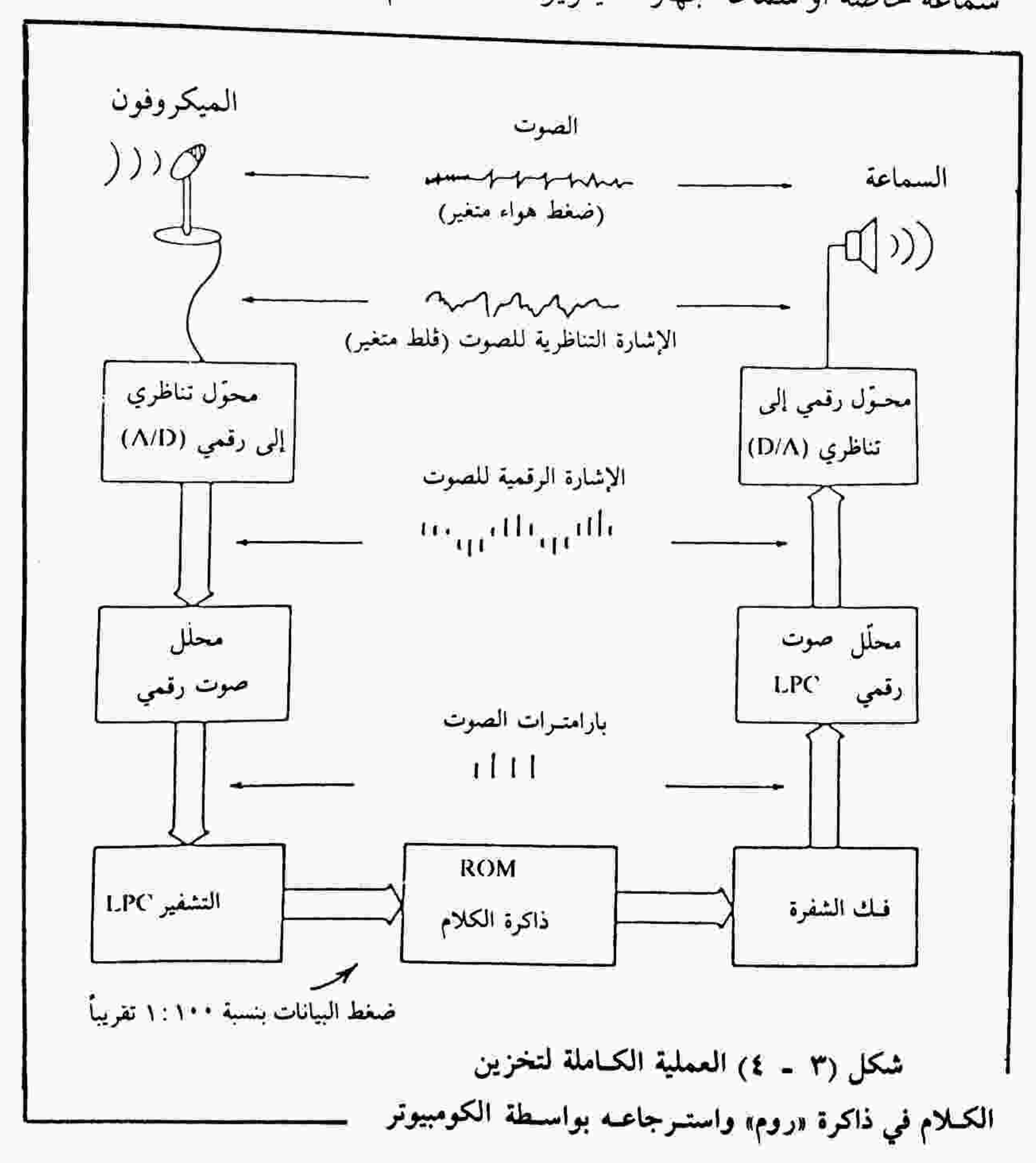
شكل (٣ - ٣)

توليد الكلام باستخدام الميكروكومبيوتر

ويوضح شكل (٣ - ٤) العملية متكـاملة (التكويـد وتوليـد الصوت) حيث تبدأ بتحويل الإشارة الصوتية التناظرية إلى إشارة رقمية. ثم يتم تحليل بارامترات الصـوت باستخـدام جهاز تحليـل رقمي (digital analyzer). ويتم تكويد (تشفيـر) هذه البـارامترات بـاستخـدام الـطريقـة (Linear Predictive

LPC (Coding وهي أحد الطرق المستخدمة في التكويد. وعندما يتم توليد الكود يختزن في الذاكرة «روم» المعدة لهذا الغرض (ذاكرة الكلام).

أما العملية العكسية لاسترجاع الصوت فهي تبدأ بفك الشفرة (decoding) ثم يتم معالجة الإشارة الناتجة بواسطة محلل رقمي ثم يتم تحويلها إلى إشارة تناظرية مرة أخرى يمكن تكبيرها وسماعها عن طريق سماعة خاصة أو سماعة جهاز التليفزيون المستخدم.



شكل (٣ - ٤) العملية الكاملة لتخزين الكلام في ذاكرة «روم» واسترجاعه بواسطة الكومبيوتر

(٣ - ٣) توليد الفونيمات (Phoneme Generators)

ما هي الفونيمات؟

الفونيمات هي وحدات صغيرة من وحدات الكلام التي تساعد على تمييز نطق لفظة ما عن نطق لفظة أخرى. فالكلمتان pin، fin متشابهتان إلاّ من صوت الحرف p في الكلمة الأولى وصوت الحرف f في الكلمة الثانية. لذلك يقال أن الحرف p هو فونيمة مختلفة عن الفونيمة f من حيث أن لها صوتاً مختلفاً.

وقد تُعرّف الفونيمة بأنها صوت الحرف (الساكن أو المتحرك) لكنها لا تناظر بالضرورة حرفاً واحداً، فالكلمة sit تحتوي على ثلاثة أحرف وثلاث فونيمات، بينما الكلمة sought تحتوي على ستة حروف لكنها تحتوي ثلاث فونيمات أيضاً (ثلاثة أصوات).

وكل لغة من اللغات تحتوي عدداً مختلفاً من الفونيمات التي تؤلف الأصوات المختلفة لهذه اللغة. وسوف نعود للحديث عن الفونيمات عندما نتعرض لموضوع التعرف على الصوت البشري.

وصناعة الكلام باستخدام الفونيمات يعتمد على تحويل الكود آسكي (ASCII) إلى أصوات. ورغم أن الصوت الناتج بهذه الطريقة لا يشبه الصوت

البشري كثيراً، لكن إستخدام هذه الطريقة يفتح المجال أمام المبرمج على مداه حيث يستطيع الكومبيوتر أن ينطق بكل ما يُؤمر به.

وهناك خاصية شائعة بين أجهزة الكومبيوتر الصغيرة مثل «كومودور» «وتاندي» وهي إمكان تحويل كل ما يكتب على الشاشة إلى صوت (Text—to—speech system). وهي خاصية تمكّن الجالس إلى لوحة الأزرار من مراجعة كل ما يكتب بدون النظر إلى الشاشة لأنه يسمع كل ما يكتبه.

هذه الخاصية لا يمكن الحصول عليها مع الطريقة الأولى لصناعة الصوت حيث تحتوي ذاكرة الصوت على عدد محدود من الكلمات السابق تسجيلها.

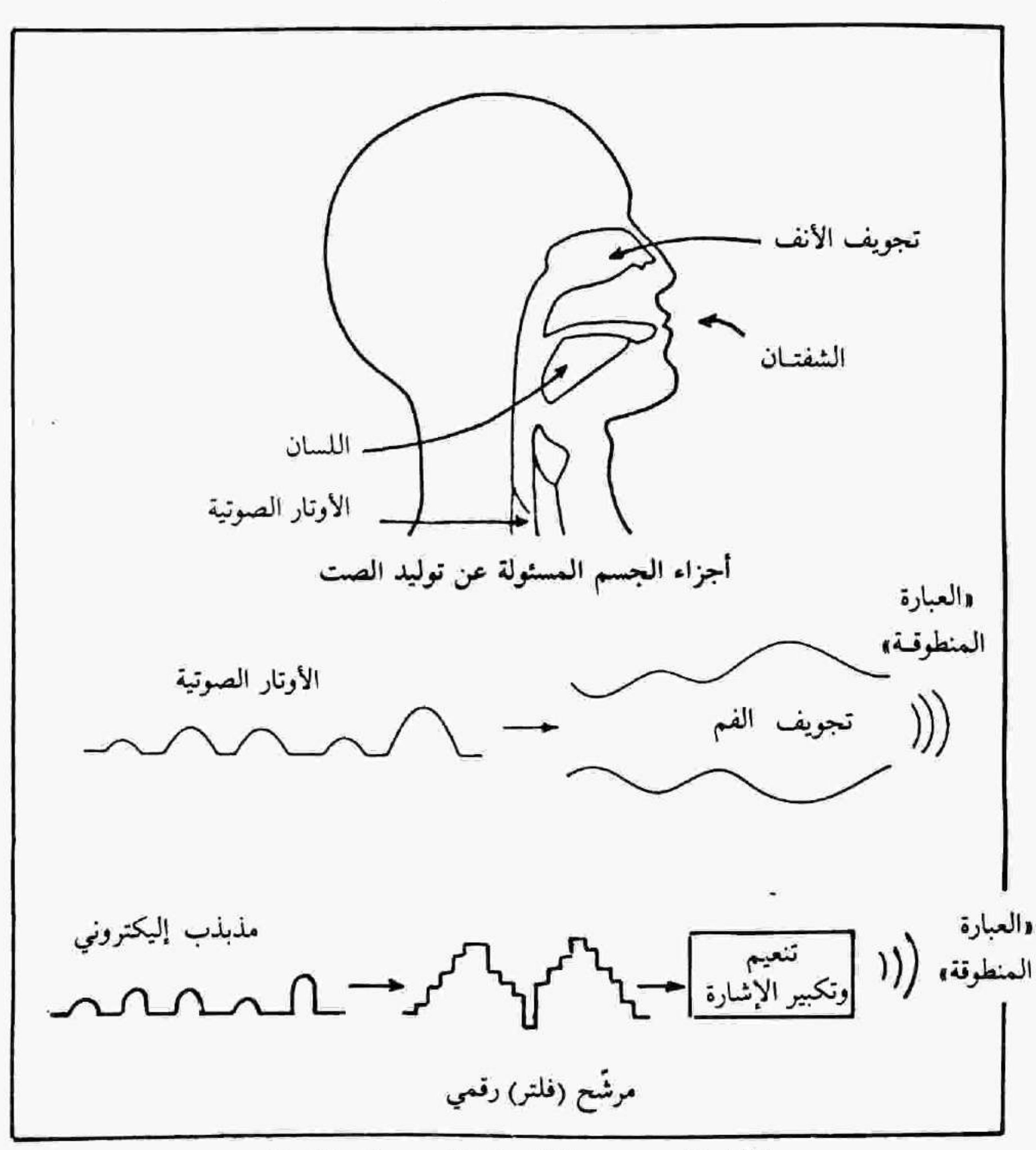
وتعتمد طريقة توليد الفونيمات على محاكاة طريقة توليد الصوت في الإنسان أي بمحاكاة الأوتار الصوتية وتجويف الفم والأنف. ويتم ذلك باستخدام مُرشّح رقمي (digital filter) متعدد المراحل يمكن تغيير بارامتراته.

وشكل (٣ - ٥) يوضح التمثيل الإليكتروني لتوليد الصوت البشري حيث يوضح أجهزة الإنسان المسئولة عن توليد الصوت وأمامها الأجهزة الإليكترونية التي تحاكى الأجهزة البشرية.

ففي الإنسان يشترك في توليد الصوت كل من الأوتار الصوتية والتجويف الأنفي واللسان والشفتين. كما تعتبر الرئتان هما مصدر الطاقة التي تمنحنا القدرة على إصدار الصوت.

وتتم عملية الكلام باهتزاز الأحبال الصوتية (الأوتار الصوتية) لدى الإنسان ويناظرها في النموذج الإليكتروني النبضات الناتجة من مذبذب إليكتروني يتذبذب وفقاً لبارامترات معينة تُملى عليه من ذاكرة «روم». وتؤثر الذبذبات الناتجة على المرشح الرقمي فتغيّر من سعة (شدة) الإشارة الداخلة

إليه. والتغير في سعة الإشارة يمثل مصدر الطاقة ويحاكي بذلك الدور الذي تقوم به الرئتان عند توليد الصوت البشري. بعد ذلك يتم تنعيم وتكبير الإشارة الناتجة من مراحل المرشح الرقمي لإصدار الإشارة الصوتية المطلوبة والتي يمكن تحويلها إلى ذبذبات صوتية باستخدام سماعة.

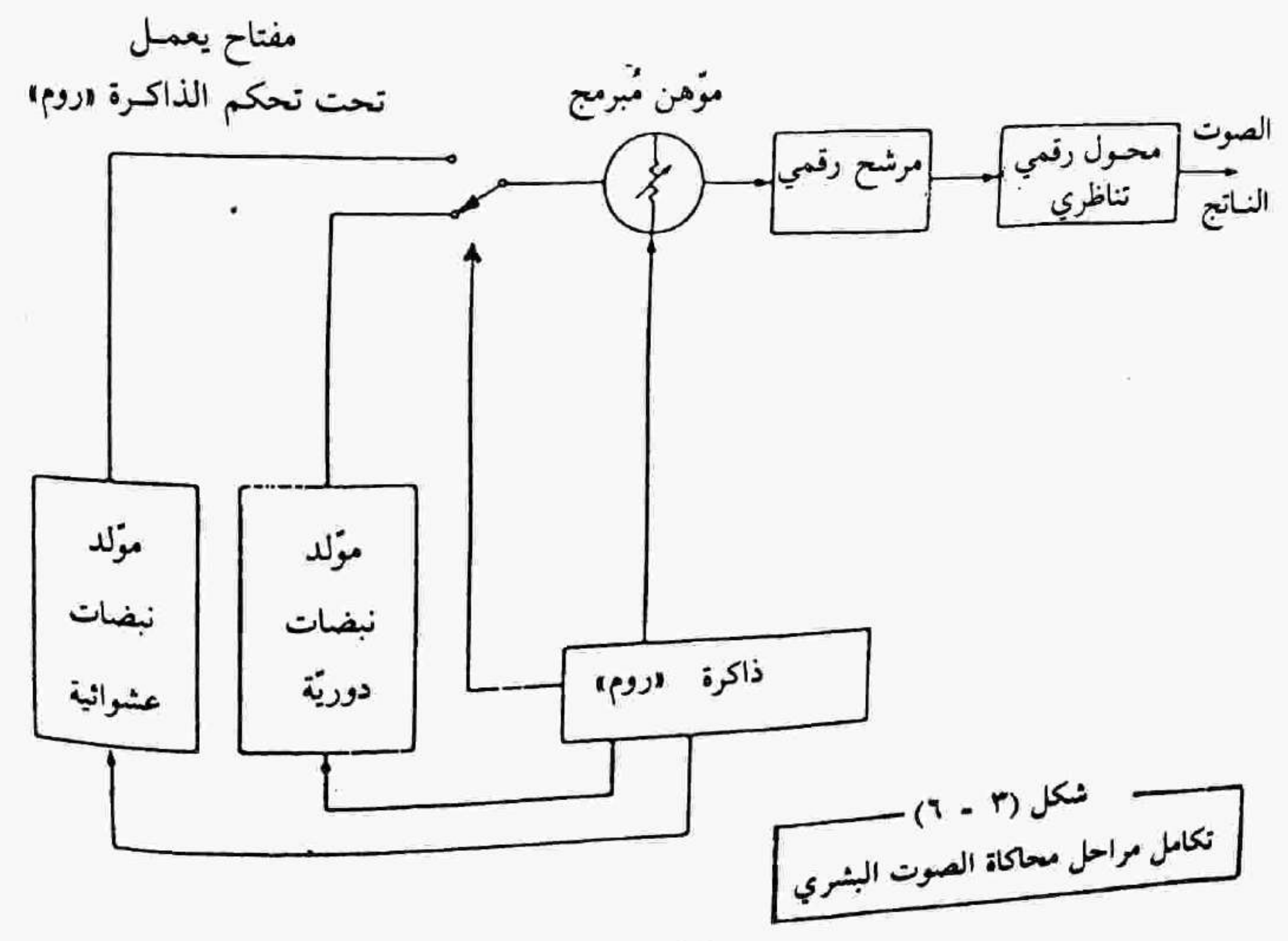


شكل (٣ ـ ٥) محاكاة توليد الصوت في الإنسان

أما المرشح الرقمي فهو يتكون عادة من ١٠ إلى ١٢ مرحلة وهو يتميز بإمكان تغيير خواصه تحت تأثير البارامترات الصوتية القادمة إليه من الـذاكرة روم.

ويمثل شكل (٣ - ٦) تجميعاً للعمليات والمراحل المختلفة لمحاكاة توليد الصوت البشري.

ومما لا شك فيه أن التفصيلات التي قدمناها هنا عن توليد الكلام لا تغطّي كل عناصر الموضوع، ولكنها قد تعطي فكرة سريعة عن المراحل المختلفة لعملية توليد الكلام. ومع ذلك فنتعشم أن نلتقي لقاء آخر حول هذا الموضوع نعالج كل دقائقه.



شكل (٣ - ٦)
تكامل مراحل محاكاة الصوت البشري

(٣ - ٤) التعـرف على الكلام (حـاسة السمـع)
Speech Recognition

أما عملية التعرف على الكلام فهي تعني أمرين:

(١) التعرف على الكلمات:

بمعنى أن يستقبل الكومبيوتر العبـارة أو الكلمة التي ننـطق بها خـلال ميكروفون ويجري عليها العمليات اللازمة للمعالجة مثل تخزينها في الذاكرة أو الرد عليها بالاستجابة المناسبة سواء بالصوت الصناعي أو بالكتابة أو الرسم على الشاشة.

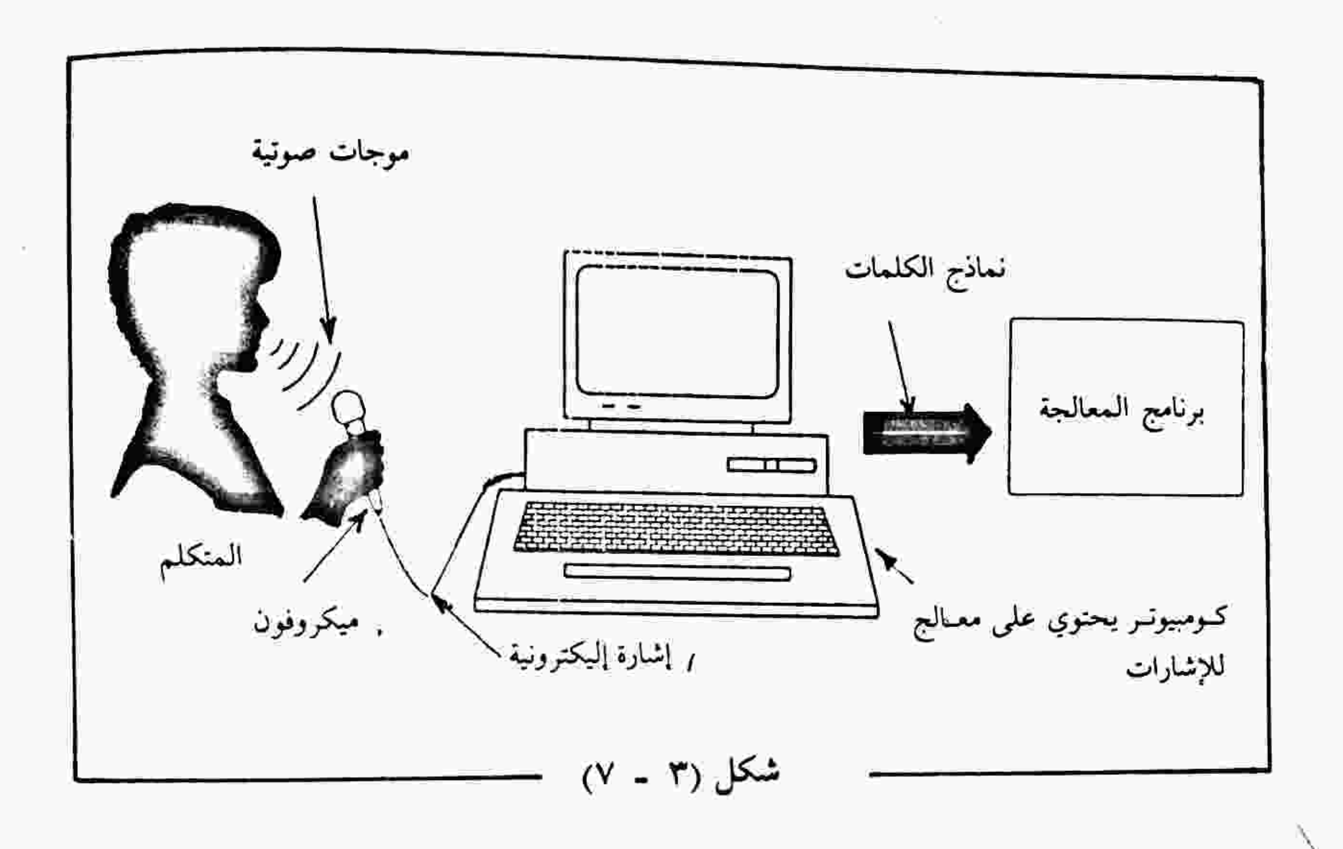
(٢) فهم الكلام:

وهذا في حد ذاته موضوع منفصل عن التعرف على الكلمات أو العبارات فمن الجائز أن يفهم الإنسان الموضوع بدون أن يتعرف تماما على كل كلمة من الحديث الدائر. بل أحيانا ما نصغي إلى إنسان يتحدث لغة أجنبية وتسقط منا بعض معاني المفردات لكننا مع ذلك نفهم المقصود دائما.

لذلك فالهدف النهائي للباحثين في هذا المجال هو إكساب الكومبيوتر القدرة على التعرف على الكلام، وفهم الكلام.

فإذا بدأنا بإشارة الصوت التي نرسلها إلى الكومبيوتر خلال ميكروفون متصل به، فإن الكومبيوتر يستقبل هذه الاشارة ويعالجهـا ثم يقارنهـا بنماذج

مختلفة للكلمات السابق تخزينها في ذاكرته حتى يتم التعرف عليها، شكل (٣ - ٧).



شكل (٣ - ٧)

أي أن عملية التعرف على الصوت يلزمها عدة عناصر لا بد من وجودها مع الكومبيوتر: الميكروفون، برنامج المعالجة الذي يقوم بالمقارنات وتحديد الاستجابة، قاموس مخزن في الذاكرة يحتوي على نماذج الكلمات المطلوب التعرف عليها، هذا علاوة على معالج للإشارات الصوتية الذي يقوم بتحويلها إلى الصورة المناسبة التي تمكّن الكومبيوتر من التعامل معها كبيانات ويسمى (signal processor).

والمشكلة الرئيسية تكمن في القاموس الذي يحتوي على نماذج الكلمات. فمن ناحية عدد الكلمات فهناك قيد على هذا العدد بسبب الذاكرة المحدودة. ومن ناحية أخرى فإن نماذج الكلمات ليست قياسية فكل إنسان

ينطق الكلام بطريقة مختلفة عن الآخر. فلو أننا أجرينا تجربة دقيقة لمشاهدة الإشارة الصوتية الناتجة لكلمة معينة ينطقها أشخاص مختلفون فمن الصعب أن نجد تطابقاً بين إشارتين.

بل إن الشخص الواحد عندما ينطق نفس الكلمة مرتين فإن النطق غالباً ما يتغيّر (وبالتالي يتغير شكل الإشارة الممثلة للصوت) بحسب سياق الكلام وبحسب الظروف التي تنطق فيها الكلمة. فلو أنك نطقت الكلمة في الصباح الباكر وقبل تناول إفطارك لا شك أنها ستختلف عما لو نطقتها بعد تناول الإفطار. وأحياناً ننطق كلمة ما بحماس وحيوية إذا كان السياق الذي يحتوي الكلمة حيّاً. وفي أحيان أخرى ننطق نفس الكلمة بفتور أو ملل أو بلا حياه.

لذلك قسم الباحثون العمل في هذا المجال إلى قسمين:

(١) إعتماد النطق على المتكلم.
(٢) إعتماد النطق على السياق.

(٣ - ٤ - ١) إعتماد التعرّف على المتكلم

نظراً لاختلاف شكل الاشارات الصوتية الناتجة عن نطق الأشخاص المختلفين لنفس الكلمات (إختلاف نماذج الكلمات) فقد إنقسم البحث في هذا المجال إلى إنتاج نوعين مختلفين من أجهزة التعرف على الكلام.

● **أجهزة تعتمد على المتكلم Speaker Dependent Recognition**

وهذه الأجهزة صممت خصيصاً للتعرف على صوت شخص معيّن. وعند إستخدام مثل هذا الجهاز يقوم المستخدم «بتدريب» الجهاز على صوته بأن ينطق مجموعة من الكلمات المراد حفظها في الذاكرة كنماذج. فإذا إنتهى التدريب وتكوين النماذج، أصبح الكومبيوتر قادراً على التعرف على هذه

المجموعة من الكلمات أو العبارات منطوقة بواسطة نفس الشخص الذي سجّلها.

فإذا أراد شخص آخر أن يستخدم الكومبيوتر فإن الكومبيوتر غالباً لا يستطيع التعرف على صوته وعليه أن يدرّب الكومبيوتر من جديد على صوته المختلف وذلك بتسجيل مجموعة جديدة من النماذج في الذاكرة. فإذا كان الكومبيوتر يستخدم بواسطة مجموعة محدودة من الناس فلا بأس من تدريبه على صوت كل منهم وفي هذه الحالة فإن عدد نماذج الكلمات سوف يزيد بزيادة عدد المستخدمين.

وعادة ما يوجد حد لعدد النماذج التي يمكن حفظها في ذاكرة الكومبيوتر فهي في الأجهزة الصغيرة لا تتعدى مائة نموذج.

● **أجهزة لا تعتمد على المتكلم Speaker Independent Recognition**

وتصمم هذه الأجهزة بحيث يمكن إستخدامها بواسطة أي شخص لكن هناك صعوبات بالغة في الوصول بها إلى التطبيق العملي إلاّ في حدود ضيقة.

(٣ - ٤ - ٢) إعتماد التعرّف على السياق

نظراً لاختلاف الطريقة التي تنطق بها الكلمة بحسب سياق الكلام فإن البحث قد قسم العمل في هذا المجال إلى الأقسام التالية:

● **التعرف على الكلمات المفردة Isolated Word Recognition (IWR)**

مع هذه الأجهزة يمكن إدخال الكلمات إلى الكومبيوتر مفصولة عن بعضها البعض بفترات صمت. وهذه الطريقة تجنب الكومبيوتر مشكلة كبيرة وهي مشكلة التعرف على الكلمات المتصلة معاً بسبب سياق الكلام.

وفي لغتنا العربية فإننا نلفظ كلمة «السماء» بطريقة معينة فإذا أضفنا إلى الكلمة حرفاً واحداً وليكن حرف الواو فتصبح «والسماء»، في هذه الحالة سوف يختلف النطق تماماً بسبب إختفاء صوت الهمزة في بداية الكلمة.

وقد نجحت أنظمة التعرف على الكلمات المفردة نجاحاً ملموساً خلال العشرين عاماً الماضية.

● **التعرف على الكلمات المتصلة (CWR) Connected Word Recognition**

مع هذه الأنظمة يمكن التعرف على الكلمة وهي متصلة بغيرها في سياق الكلام بدون وقفات ملحوظة. ولم تتقدم الصناعة في هذا المجال تقدماً ملحوظاً حتى الآن.

● **التعرف على الحديث المستمر (CSR) Continuous Speech Recognition**

أما هذه الأجهزة فهي تستطيع التعرف على الكلام العادي أثناء المحادثات بالسرعة الطبيعية التي يتحدث بها الناس. ويتضمن هذا التطبيق كل المشكلات السابقة في التعرف على الكلمات المتصلة علاوة على صعوبة جديدة وهي معالجة البيانات بسرعة وفي الوقت الحقيقي (Real time) الذي تتم به المحادثات الطبيعية.

(٣ ـ ٥) الأبحاث الجارية... أين هي الآن؟

ركزت الأبحاث في مجال التعرف على الصوت البشري على تركيبات مختلفة من الأنظمة السابقة. فقبل عام ١٩٧٠ كانت الأبحاث مهتمة بتطوير النظم المعتمدة على المتكلم والتي تتعامل مع الكلمات المنفصلة (IWR).

أما الأبحاث الحالية فهي تكرس الجهود لتطوير النظم غير المعتمدة على المتكلم والتي تتعامل مع الكلمات المنفصلة أيضاً، وقد اهتمت بهذا الموضوع مؤسستان من كبرى مؤسسات الأبحاث في أمريكا هما مؤسسة التكنولوجيا بماساشوستس (MIT) وجامعة كارنيجي ميللون (CMU).

أما الطفرة الجديدة التي حدثت في مجال صناعة الكومبيوتر والتي سوف تؤثر تأثيراً واضحاً على التطبيقات بما في ذلك التعرف على الكلام ـ فهي إبتكار الكومبيوتر ذو الخلايا العصبية (neurocomputer) والذي يعتمد على شبكة من الأعصاب تماثل الجهاز العصبي للإنسان.

وقد استثمرت شركة الأبحاث «تكنولوجي أنترناشيونال» (TII) بالولايات المتحدة هذا الاتجاه لتصميم كومبيوتر يمكنه التعرف على الكلام المتصل (CSR) باستخدام دوائر الخلايا العصبية (neural networks) وسوف يتم إستخدام هذا الكومبيوتر مبدئياً بوزارة التعليم الأمريكية بهدف النهوض بالعملية التعليمية للمعوقين لكنه سوف يصبح بعد ذلك في متناول الجميع لا سيما أنه من أجهزة الكومبيوتر الصغيرة غير المكلّفة، وهذا هو المجال الذي يعمل فيه المؤلف حالياً.

(٣ - ٦) تحليل الكلام (Analyzing Speech)

بصرف النظر عن التكنيك المستخدم للتعـرف على الكلام، فـإنه في جميع الأحوال تتحول الذبذبات الصوتية إلى إشارة كهربية تسري في دوائـر الكومبيوتر، ويلزم تحليل هذه الإشارة لتحديد الكلمات التي تحتوي عليها.

وهنـاك أسلوبان للتحليـل: أولهما هـو التعرّف على الكلمـات كـاملة (وهذا هو المستخدم في معظم الأجهزة)، والثاني هو التعرف على وحـدات الكلام الصغرى المكـونة للكلمـات وهي المقاطـع (syllables) والفونيمـات (phonemes) والألوفونات (allophones) وسوف نتحـدث عن كل وحـدة على حدة: -

مقاطع الكلمة Syllables

يتكـون المقطع من حـرف متحرك واحـد وبعض الحـروف السـاكنـة المصاحبة له وهو يُنـطق كوحـدة واحدة، ويمكن التعـرف عليه في الإشـارة الكهربية للصوت ويمكن في بعض الأحيان عزله عن الكلمة التي تحتويـه. وفي اللغة الانجليزية يوجد أكثر من عشرة آلاف مقطع مختلف أما في اللغة اليابانية فيوجد ٥٠٠ مقطع فقط وهذا يمنح اللغة اليابانية ميزة تتفوق بهـا في مجال التعرف على الكلام وقد تقدمت اليابان تقدماً ملحوظاً في هذا المجال فيما أسمته بمشروع الجيل الخامس للكومبيوتر.

الفونيمات Phonemes

كما ذكرنا من قبل أن الفونيمة هي صـوت الحرف السـاكن أو الحرف المتحرك وقد يجوز أن يكون صوتا لمجموعة من الحروف تنطق معاً كصوت واحد، فالكلمة sit تحتوي على ثلاثة أحرف وثلاث فونيمات (أصوات) بينما كلمة sought تحتوي على ستة حروف وثـلاث فونيمـات لأنها أيضـاً تحتوي على ثلاثة أصوات.

وتؤدي التراكيب المختلفة للحروف إلى فونيمات مختلفة فعلى سبيـل المثال إذا اعتبرنا الحرفين th في كلمـة thigh ونفس الحرفين في كلمـة thy سوف نجد أنهما في كل كلمة يناظران فونيمة مختلفة أي صوتاً مختلفاً.

وتحتوي اللغة الانجليزية على ٤٠ فـونيمة تقـريباً مـوضحة بـالملحق (ب).

الألوفونات allophones

«الألوفون» هو التغير في صوت الفونيمـة نتيجة إستخـدامها في كلمـة معينة.

فالحرف t في اللغة الانجليزية يمثل فونيمة ذات صـوت معروف لكن هذا الصوت قد يتغير قليلاً نتيجة إختلاف الضغط عليه أثناء النطق من كلمة إلى أخرى. وهذه بعض الكلمات التي يختلف فيها صوت الفونيمة t:

tale , late , later

أي أنه يمكن القول بأن الألوفون هو الصورة الحيّة للفونيمة بـداخل الكلمـة المنطوقة.

(٣ - ٧) خلق وتخزين القوالب الكلامية
(Speech Patterns)

عندما تستخدم أحد أجهزة الكومبيوتر التي تتمتع بالقدرة على التعرف على الكلام فإنك تحتاج أن تدربها بصوتك على مجموعة من الكلمات والعبارات التي تتوقع إستخدامها أثناء تشغيلك الكومبيوتر باستخدام الصوت. وعملية التدريب ينتج عنها تخزين مجموعة الكلمات أو العبارات في الذاكرة في صورة «قوالب» (templates) أو «نماذج» (patterns).

والعملية الفنية التي يسفر عنها تكوين هذه النماذج أو القوالب تشبه إلى حد كبير عملية تسجيل الكلمات في ذاكرة الكلام (speech ROM) لكنك في هذه الحالة تختزنها في الذاكرة الخارجية للكومبيوتر أي القرص المغنطيسي أو الشريط الكاسيت.

والشكل (٣ - ٨) يوضح مراحل عملية خلق القوالب الكلامية التي تبدأ بالصوت (الخارج من الميكروفون) حيث يستقبل في مرشح حزمة تناظري (Band - pass analog filter) يقوم باستبعاد الضوضاء المحتمل وجودها في الصوت نتيجة أية مصادر خارجية. ثم يقوم بعملية تحليل الصوت جهاز محلل طيفي (spectrum analyzer) وينتج عن عملية التحليل إنتاج البارامترات الممثلة للكلمة المراد تخزينها في الذاكرة الخارجية والتي نسميها القالب أو النموذج (template).

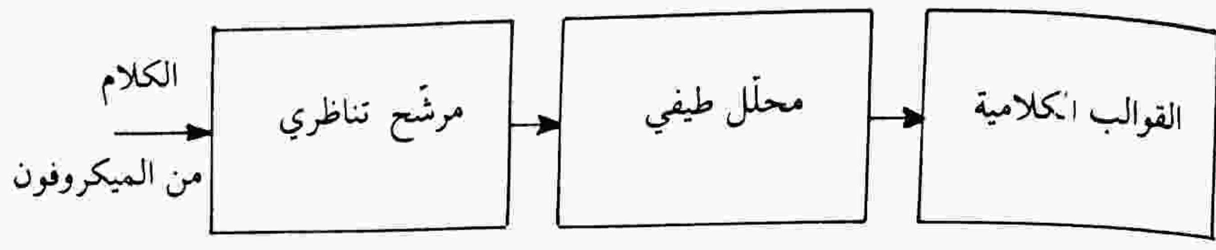
أما المرحلة الثانية لاستخدام الكومبيوتر فهي المرحلة التي تستخدم فيها هذه القوالب الكلامية (من خلال برنامج طبعاً) وتطلب من الكومبيوتر أن يتعرف على الكلام ويستجيب له إستجابة معينة، كأن يرد عليك بالجملة المناسبة إذا كان يحتوي على جهاز تصنيع الكلام (speech synthesizer) أو يكتب شيئاً على الشاشة أو يعزف لحناً موسيقياً.

وعملية التعرف على الكلام تحتوي على نفس المراحل السابقة كالترشيح والتحليل وتكوين نموذج صوتي للكلمة المراد التعرف عليها ثم يلي ذلك عملية المقارنة بين القوالب المخزنة من قبل في الذاكرة وبين الكلمة المستقبلة المراد التعرف عليها. ومن المتوقع أنه كلما زاد عدد القوالب المخزنة كلما زاد عدد المقارنات المطلوبة. وبالتالي يستغرق الكومبيوتر بعض الوقت في عملية التعرف. وبالطبع كلما كان الكومبيوتر صغيراً كانت سرعته أقل لأن السرعة ترتبط بنوع المعالج (microprocessor) إرتباطاً مباشراً.

ماذا بعد؟

ما زال في موضوع صناعة الكلام والتعرف على الكلام الكثير من التفصيلات الفنية التي تهم النشىء على وجه الخصوص لكن مجال الحديث عن الذكاء الاصطناعي لا يسمح لنا بأكثر من ذلك حتى نغطي كافة الموضوعات.

ولعلنا بإذن الله نلتقي حول هذا الموضوع لقاءً خاصاً في كتابنا القادم حيث نقدم الدوائر الكهربية التفصيلية لبعض الشرائح الإليكترونية التي يمكن إضافتها للكومبيوتر مع البرامج اللازمة لتشغيلها. وسوف يكون المجال ـ عندئذ ـ مفتوحاً للاستفاضة في التطوير الأخير: الكومبيوتر ذو الخلايا العصبية!



شكل (٣ - ٨) خلق وحفظ القوالب الكلامية

TIME (SECONDS)

FREQUENCY (KHz)

التردد بالكيلوسيكل/ث

TIME (SECONDS) الزمن بالثواني

FREQUENCY (KHz)

شكل (٣ - ٩) النماذج الصوتية للكلام كما يظهرها جهاز مرسمة الطيف (spectrogram) وهي توضح الطاقة الصوتية التي تحتويها الترددات المختلفة (شركة تكساس انسترومنتس)

(٣ ـ ٨) فهم الكلام ؟؟

كيف نفهم الكلام؟

لو أنك استمعت إلى شخص يتحدث بلغة لا تعرفها سيبدو لك كلامه وكأنه وحدة واحدة متصلة. لن تستطيع أن تميز الكلمات من بعضها البعض. وإذا كنت تعرف هذه اللغة بدرجة صغيرة سوف تستطيع فصل بعض الكلمات والتعرف عليها، وكلما زادت معرفتك باللغة كلما زادت قدرتك على فصل الكلمات وتمييزها عن بعضها البعض. وحتى لو أن بعض الكلمات كانت جديدة عليك أو غير واضحة النطق فإن متابعتك لموضوع الكلام سوف يساعدك على فهم معاني الكلمات من السياق أو بالتوقع.

ونحن جميعاً نتكلم بهذه الطريقة المتصلة ولا نلقى بالاً لفصل الكلمات عن بعضها البعض أو لإجادة نطق الكلمة بطريقةٍ قياسية لكننا نفهم لغتنا بتوقع المعنى وبمتابعة سياق الكلام.

بل إننا عندما نتحدث أو نسمع قد نتعامل مع كلمات تكتب أو تنطق بنفس الطريقة لكنها ذات معان مختلفة لا يمكن فهمها إلّا من الجملة الكاملة. وناهيك عن البلاغة اللغوية وما فيها من تورية وإستعارة وسائر الأفانين المختلفة.

فإذا سألتك على سبيل المثال عن معنى كلمة «هوى» فلن تستطيع أن تجيب إجابة واحدة إلاّ إذا وضعت الكلمة في سياق جملة، فهي تحمل المعنى «أحب» وتحمل المعنى «سقط من إرتفاع». فنحن عندما نصادف كلمة مثل هذه نستعين بالمعنى العام وبخلفيتنا من المعلومات اللغوية حتى نفهم المعنى المقصود.

فإذا أتينا إلى الكومبيوتر لوجدنا أن مشكلته عسيرة في فهم الكلمات! فالفهم يحتاج تزويد الكومبيوتر «بمعرفة» المعاني. وإحدى الطرق المستخدمة هي تزويده بأكثر من طريقة للوصول للمعنى. فالمعنى عادة يتم الوصول إليه بالاستعانة بقواعد الإعراب ومعلوماتنا عن دلالات الألفاظ والقدرة على فهم السياق. وباستخدام كل هذه الوسائل معاً يمكننا تحديد المعنى المقصود لا سيما إذا كانت العبارة تحتمل أكثر من معنى.

وبعض برامج فهم الكلام تبدأ بالكلمة الأولى في الجملة وتحاول فهم الكلمة الثانية بناء على معنى الكلمة الأولى وهكذا بالتتابع. ورغم أن هذه الأنظمة قد حققت بعض النجاح لكنها قد تصل إلى نتيجة خاطئة إذا أخطأت فهم الكلمة الأولى. كما تستخدم بعض النظم الأخرى أسلوباً مختلفاً حيث تبدأ بالكلمة الموثوق في صحة فهمها أي بالكلمة السهلة التي لا يحتمل فيها اللبس وتحاول ربط المعنى بالكلمات الأخرى للوصول للمعنى الكلي للجملة.

تذكر هذه المصطلحات (مُرتبة حسب ورودها في الباب)

Speech synthesis	توليد الكلام (الصناعي)
Speech recognition	التعرف على الكلام (البشري)
speech ROM	ذاكرة الكلام
speech processor chip (SPC)	شريحة معالج الكلام
digital analyzer	محلّل رقمي
coding - encoding	التكويد أو التشفير
decoding	فك الشفرة أو الكود
D/A converter	محوّل رقمي إلى تناظري
A/D converter	محوّل تناظري إلى رقمي
phoneme	فونيمة
phoneme generator	مولّد الفونيمات
signal processor	معالج الإشارات
speaker dependent recognition	أجهزة التعرف المعتمدة على المتكلم
speaker independent recognition	أجهزة التعرف غير المعتمدة على المتكلم
Isolated Word Recognition (IWR)	التعرف على الكلمات
Connected Word Recognition (CWR)	التعرف على الكلمات المتصلة
Continuous Speech Recognition (CSR)	التعرف على الحديث المستمر
Neural Networks	الدوائر الكهربية للخلايا العصبية
Neurocomputer	الكومبيوتر ذو الخلايا العصبية
speech analysis	تحليل الكلام
syllable	مقطع الكلمة

ألوفون	*allophone*
نموذج	*pattern*
قالب	*template*
نماذج كلامية	*speech patterns*
قوالب كلامية	*speech templates*
محلّل طيفي	*spectrum analyzer*
تناظري (أو تمثيلي أو بالقياس) (الكلمة المقابلة هي رقمي digital)	*analog*
مرشح تناظري	*analog filter*
مرشح حزمة تناظري	*band - pass analog filter*
جهاز صناعة (أو توليد) الكلام	*speech synthesizer*
جهاز التعرف على الكلام	*speech recognizer*

الخلاصة

١. يتم توليد الكلام بالكومبيوتر بأحد طريقتين؛ إما باستخدام مجموعة من الكلمات السابق تخزينها على ذاكرة «روم» (speech ROM) وتسمى هذه الطريقة بالكلام الاصطناعي أو صناعة الكلام (speech synthesis)، وإما باستخدام مولدات الفونيمات (phoneme generators).

٢. تتميز الطريقة الأولى (الكلام الاصطناعي) بجودة الإلقاء ووضوح الكلمات ولكن يعيبها عدد الكلمات المحدود.

٣. تتميز االطريقة الثانية (مولدات الفونيمات) بإمكان توليد أي كلمة وبأية لغة، ولكن يعيبها عدم جودة النطق بمقارنتها بالطريقة الأولى.

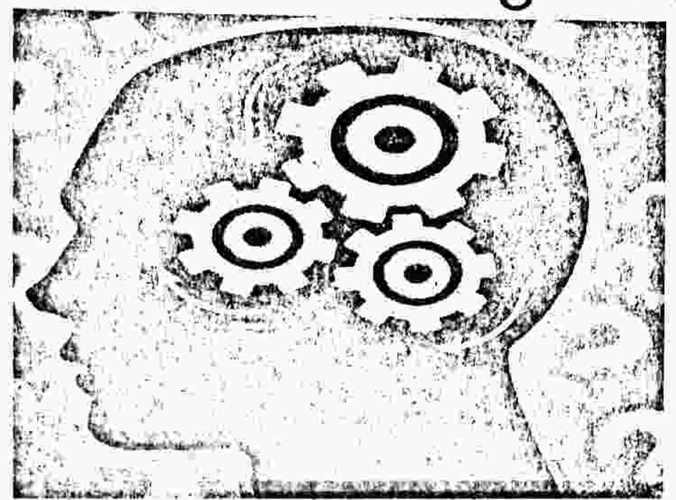
٤. يعتبر التعرف على الكلام (speech Recognition) من موضوعات أبحاث الذكاء الاصطناعي وهو يهدف بصورة نهائية إلى منح الكومبيوتر القدرة على التعرف وفهم الكلام البشري.

٥. ينقسم التعرف على الكلام إلى إتجاهين في البحث هما التعرف المعتمد على المتكلم (Speaker - dependent Recognition) والتعرف غير المعتمد على المتكلم (Speaker - independent Recognition) والنوع الأول أكثر سهولة في الصناعة وأكثر إنتشاراً بين الأجهزة المستخدمة.

٦. يستطيع الكومبيوتر التعرف على الكلمات المنفصلة عن بعضها البعض باستخدام القوالب الكلامية (speech templates) التي يقوم المستخدم بتسجيلها في ذاكرة الكومبيوتر كمرجع للمقارنة في وقت سابق.

٧. يسهل على الكومبيوتر التعرف على الكلمات المنفصلة عن بعضها البعض أكثر من الكلمات المتصلة أو الحديث المستمر.

الذكاء الاصطناعي
Artificial Intelligence



المفهوم العام

الذكاء الاصطناعي هو فرع من فروع علم الحاسوب الذي يهتم بتصميم وبناء نظم حاسوبية ذات صفات ذكية تؤهله لتعلم مفاهيم ومهمات جديدة استجابة الى الظروف المحيطة وقادرة على التفاعل مع الانسان بالصوت والصورة.



تعريف الذكاء الاصطناعي

أعتمد العلماء اربعة مداخل لتعريف الذكاء الاصطناعي هي:

- **التفكير كالانسان Think like humans:**
  - **هو العلم الذي يجعل الحاسبات تفكر ... أي آلة لها عقل**
- **الفعل كالانسانAct like humans :**
  - **هو العلم الذي يمكن الآلة من القيام بتنفيذ أعمال لو نفذت من قبل البشر لتطلبت ذكاء**
- **التفكير العقلاني Think rationally:**
  - **هو العلم الذي يقوم بتنفيذ مهام العقل البشري عبر الحوسبة**
- **الفعل العقلاني Act rationally:**
  - دراسة تصميم وظائف ذكية عن طريق حوسبة الذكاء

الذكاء الاصطناعي: اختصاره .AI مصطلح يطلق على علم من أحدث علوم الحاسب الآلي، وينتمي هذا العلم الى الجيل الحديث من أجيال الحاسب الالي ويهدف إلى أن يقوم الحاسب بمحاكاة عمليات الذكاء التي تتم داخل العقل البشري، بحيث تصبح لدى الحاسوب المقدرة على حل المشكلات واتخاذ القرارات باسلوب منطقي ومرتب وبنفس طريقة تفكير العقل البشري.

عمليات الذكاء الصناعي

- التعليم: اكتساب المعلومات والقواعد التي تستخدم هذه المعلومات.
- التعليل: استخدام القواعد السابقة للوصول إلى استنتاجات تقريبيه أو ثابتة.
- التصحيح التلقائي أو الذاتي.
- باختصار: هو فرع من فروع علوم الحاسوب يُعنى بميكنة السلوك الذكي عند الإنسان. وفيه نحتاج إلى:
- نظام بيانات: يستخدم لتمثيل المعلومات والمعرفة.
- خوارزميات: نحتاج إليها لرسم طريقة استخدام هذه المعلومات.
- لغة برمجة: تستخدم لتمثيل كلاً من المعلومات والخوارميات.

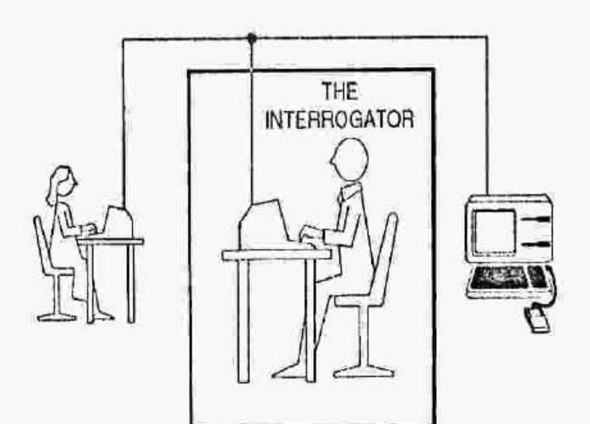
الهدف من الذكاء الصناعي

- الهدف البعيد
  - تطوير أنظمة تحقق مستوى م الذكاء شبيه بذكاء البشر أو أفضل منه (لم يتحقق بعد)
- الهدف القريب
  - تطوير أنظمة متعلقة ببعض المجالات تحقق مستوى من الذكاء شبيه بذكاء البشر أو أفضل منه (تحقق حالياً في العديد من المجالات)

مفاهيم الذكاء الاصطناعي وعلاقته ببقية فروع العلوم الأخرى

- المفهوم الأساسي للذكاء الاصطناعي هو السعي لنقل الذكاء البشري إلى الأجهزة والبرمجيات.
- لتحقيق هذا المفهوم يجب الإجابة عن التساؤلات الآتية:
- كيف يمكن أن نمثل الذكاء داخل أجهزة الحاسوب.
- ما هي المجالات التي تستخدم فيها تقنيات الذكاء الصناعي.
- ما الفرق بين تطبيقات الذكاء الصناعي وبقية التطبيقات.
- هل هناك برامج أو أجهزة خاصة لإنشاء تطبيقات الذكاء الصناعي.

The Turing Test
Chat along with Egon



الشخص الوسيط

-لا يستطيع أن يشاهد أو يتحدث بشكل مباشر لأي من الطرفين.

-لا يعرف فعلياً أي طرف هو الآلة

-يمكن أن يتواصل مع الطرفين بأسلوب نصي فقط عن طريق أجهزة مخصصة

إن لم يستطع الوسيط أن يميز الآلة من الإنسان، عندها يمكننا أن نفترض أن الآلة ذكية

الذكاء الصناعي مقارنة بالعقل البشري

- تم تحديد جوانب تفوق الذكاء البشري على برامج الحاسوب التقليدية في طريقة الاستنتاج والتفكير، ليتم تصميم تطبيقات الذكاء الاصطناعي تقلد تصرفات العقل البشري.
- خطوات التفكير البشري
  - التصنيف Classification
  - تحديد القوانين Specific Rules
  - التجارب Heuristics
  - الخبرة السابقة Past Experience
  - التوقعات (التنبؤ) Prediction

مقارنة بين الحاسوب والعقل البشري

وجه المقارنة	الحاسوب	العقل البشري
وحدات المعالجة	1 CPU 10^8 gates	10^{11} خلية عصبية
الوحدات التخزينية	10^{10} Bits RAM 10^{11} Bits Disk	10^{11} خلية عصبية 10^{14} نهايات عصبية
دورات زمنية	10^{-9} sec	10^{-3} sec
عرض الموجة	10^{10} Bit/sec	10^{14} Bit/sec
تحديث الذاكرة في الثانية	10^9	10^{14}
كيفية التعامل مع الذاكرة	تعامل مباشر مع عنوان الذاكرة	توافقي مع إمكانية استخلاص معلومات عن المجهول
كيفية تنفيذ المهام	تنفيذ تعليمات البرنامج	التنفيذ مع التعلم من خاصية إدارة المعلومات المتوفر لديه.

المفاهيم العامة للذكاء الصناعي

- كيف يمكن تمثيل الذكاء في الحاسوب؟
  - من خلال وضع مجموعة المعرفة داخل الحاسوب فيما يعرف بقواعد المعرفة knowledge base،
  - استخدام أدوات برمجية تدعى محرك الاستنتاج (Inference engine) تقوم بالبحث واستخلاص النتائج من هذه القاعدة، بصورة تشبه طريقة الاستنتاج عند البشر.
  - يتم يناء قواعد المعرفة من خلال تحويل المعرفة إلى حقائق، وقواعد، أو معالجات منطقية.
  - يتم تمثيل المعرفة باستخدام لغات برمجية خاصة بالذكاء الصناعي مثل Lisp، Prolog.
  - محرك الاستنتاج: هو عبارة عن طرق البحث المختلفة التي تستعمل لاستخراج نتائج أو توليد معارف جديدة.

الوكيل الذكي Intelligent Agent

- الوكيل الذكي: هو برنامج يعمل في مجال محدد لعلاج مشاكل محددة باستخدام مقاييس وأدوات بحث خاصة به.

واختص علم الذكاء الاصطناعي بتصميم وبرمجة الوكيل الذكي

تطبيقات الذكاء الصناعي

- تطبيقات الألعاب
- الأنظمة الخبيرة
- معالجة اللغات الطبيعية
- تمييز الكلام
- صناعة الكلام
- تمييز وقراءة الحروف
- النظر
- تمييز النماذج والأشكال ومقارنتها والتعرف عليها
- الروبوت
- التعلم
- دعم القرارات
- تلخيص الأخبار

مجالات الذكاء الصناعي

- على الرغم من أن الذكاء الصناعي هو أحد فروع علوم الحاسوب، إلا أنه الآن تشعب ليتداخل مع جمعي فروع العلوم الأخرى:

- المجال الهندسي
- مجال علوم الحاسوب
- مجال العلوم البحتة
- اللغويات
- علم النفس
- الطب

مميزات لغات وتطبيقات الذكاء الصناعي مقارنة ببقية اللغات

- القابلية على تمثيل المعرفة (حقائق، علاقات، قواعد)
- معالجة الرموز والأشكال
- القابلية على الاستنتاج
- التركيز على الحلول المقبولة
- استخدام اللغات الواصفة للمعرفة
- استخدام تقنيات التعلم
- القدرة على البحث والتخطيط للوصول للأهداف
- القدرة على التعامل مع المعرفة الديناميكية
- التفاعل مع المستخدم مثل التفاعل البشري

- يخدم الذكاء الاصطناعي اتجاهات متعددة خرج بعضها الى مجال التطبيق والاخر الى مجال البحث والتطوير ولا يزال الكثير في حلم الانسان



الذكاء الإصطناعي
Artificial Intelligence

Concept of Artificial Intelligence مفهوم الذكاء الاصطناعي

جهود لتطوير النظم المبنية على الحاسب لإعطائه القدرة على القيام بوظائف تحاكي ما يقوم به العقل الإنساني من حيث تعلم اللغات ، اتمام المهام الإدارية ، القدرة على التفكير ، التعلم ، الفهم ، و تطبيق المعنى

المجالات الرئيسية للذكاء الإصطناعي .

هي مجموعة التطبيقات الحالية و الجديدة في الحقول العلمية و النظرية المختلفة ، علما أن التطبيقات في مجال الذكاء الإصطناعي متجددة و مفتوحة على التطوير و الإبداع .

تطبيقات الذكاء الاصطناعي

- يستخدم الذكاء الاصطناعي في تطبيقات كثيرة منها:

معالجة اللغات الطبيعية
Natural Language Processing

النظم الخبيرة
Expert Systems

تحليل الصور
Image Analysis

تمييز الاصوات
Voice Recognition

النظم الخبيرة

- يتكون النظام الخبير من مجموعة من قواعد المعرفة المتعلقة بمجال معين، ويتمثل ذكاء الانظمة الخبيرة في قدرتها على التعلم واكتساب الخبرات الجديدة.

- وتستخدم الانظمة الخبيرة في مجالات عديدة اهمها الطب لتشخيص بعض الامراض ، عن طريق طرح مجموعة من الاشئلة على المريض، واقتراح اسم الدواء والعلاج وتقديم تقرير يبين كيف تم الوصول الى النتائج.

معالجة اللغات الطبيعية

- ويتم ذلك من خلال مجموعة من الانظمة القائمة على اساس معالجة اللغات الطبيعية عن طريق وضع اسس وقواعد لفهم ترابط الكلمات في الجملة المفيدة، وفهم قواعد الاعراب لتحليل الجملة الى اسماء وافعال وصفات واحوال وادوات ربط وغيرها.

- مثال على ذلك : التدقيق الاملائي والنحوي في حزمة برامج Microsoft.

تمييز الاصوات

- يسعى العلماء الى استخدام طرقة الاوامر الصوتية لنجعل الحاسوب ينفذ امرا معينا بدلا من وسائل الادخال التقليدية مثل لوحة المفاتيح او الفارة وغيرها.

وما زال هذا الامر قيد الدراسة والبحث لصعوبته لعدة اسباب منها ان فهم الكلام يعتمد على فهم سياق الكلام وليس مقتصرا على كلمه واحدة فقط.

تحليل الصور

لا تعني الصورة للحاسوب الا مجرد ملف رقمي يخزن مجموعة من النقاط الضوئية (Pixels) ويأتي هنا دور الذكاء الاصطناعي المتمثل في كيفية تحليل الصورة بهدف فهم مضمونها و التعرف عليها ولتحقيق ذلك اقترح علماء الذكاء الاصطناعي خصائص الصورة الاتيه:

1. اللون
2. العمق
3. حدود وجوانب الاشياء الظاهرة في الصورة.

النظم الخبيرة Expert Systems (ES)

تعتبر النظم الخبيرة من أهم تطبيقات الذكاء الاصطناعي وتتميز بأنها المجال الذي يتم فيه تمثيل المعرفة والتحكم في البحث داخل قواعد المعرفة.

تعريف النظم الخبيرة:

أطلقت عدة تعريفات عن النظم الخبيرة نذكر منها :

1. النظم الخبيرة هي برامج للمعرفة تعمل على علاج المشاكل الصعبة التي لا تعالج إلا من قبل خبراء البشر مثل (التشخيص الطبي و اكتشاف الأعطال).
2. النظم الخبيرة هي نظم قواعد المعرفة (لأنها تعمل على استخدام المعرفة أو الحقائق التي تستخدم من قبل خبراء البشر).

مكونات النظم الخبيرة

عادة ما يتكون النظام الخبير من ثلاث مكونات :

1. قاعدة المعرفة Knowledge Base

وتحتوي على كل الحقائق والقواعد والعلاقات التي تمثل المعرفة (معلومات وعمل الخبراء)

إذن قاعدة المعرفة هي مجموعه من الحقائق والقواعد التي توضع في شكل جمل برمجيه يمكن أن تكتب بإحدى لغات برمجه الذكاء الاصطناعي مثل

(lisp _ prolog) لذلك فان هذه المعرفة تسمى الذاكرة المؤقتة للنظام الخبير أو ذاكره العمل Working Memory

2. ماكينة الاستدلال (الاستنتاج) Inference Engine

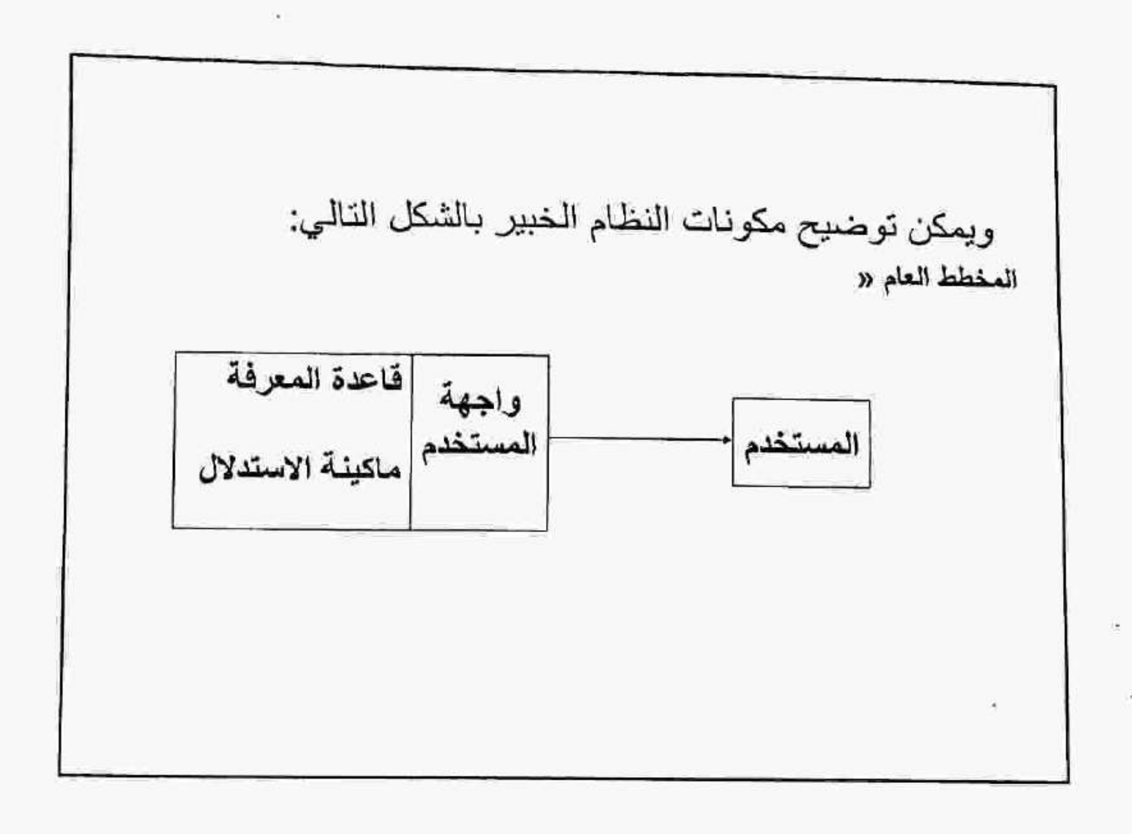
هذا الجزء من النظام الخبير يهتم بالاستنتاج وإصدار النتائج الخاصة بالنظام حيث يحتوي نظام الاستنتاج على الخطوات التي يتبعها الخبير في علاج المشاكل المتعلقة بمجال عمل الخبير ، وبصفه عامه يمكن تلخيص مهام نظام الاستنتاج في تنفيذ مهمتين هما :

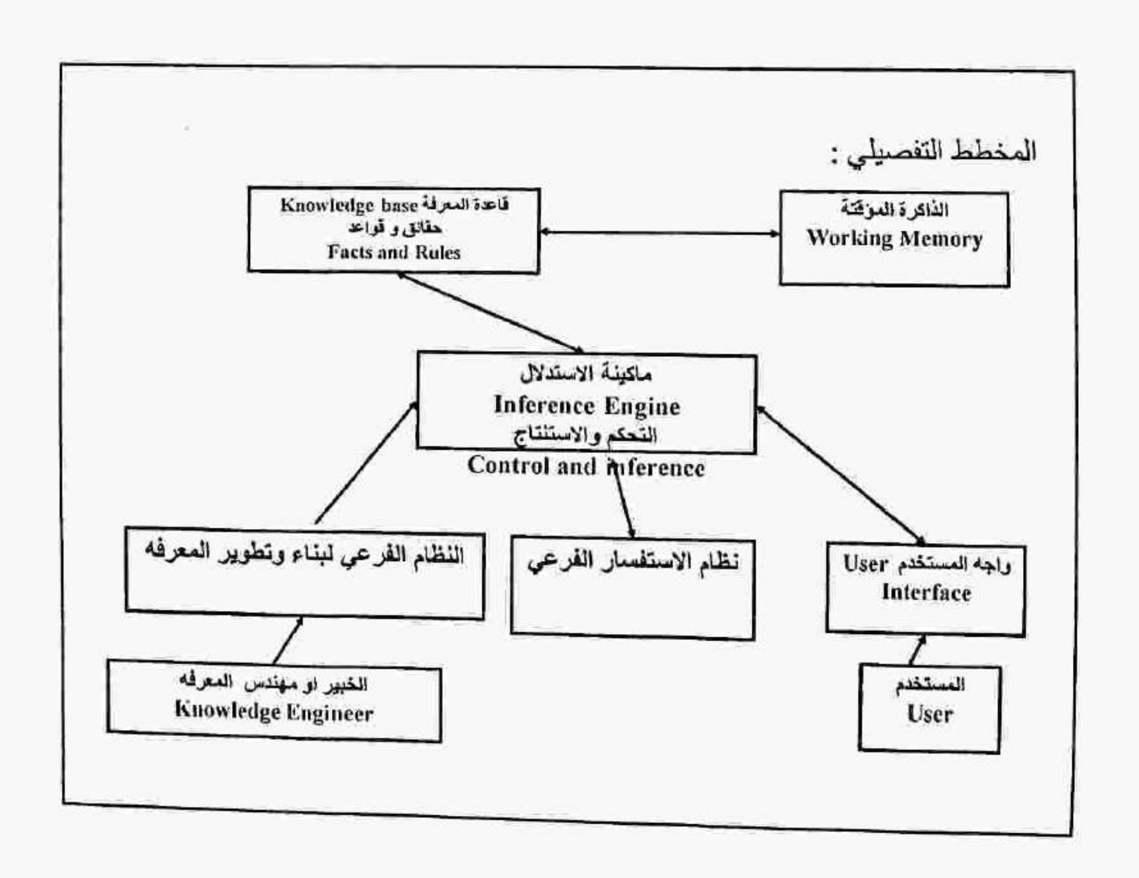
- اختبار الحقائق والقواعد الموجودة في النظام الخبير مع إمكانية إضافة حقائق أو قواعد جديدة
- تحديد الترتيب المناسب لتدفق الاستنتاج والردود على المستخدمين

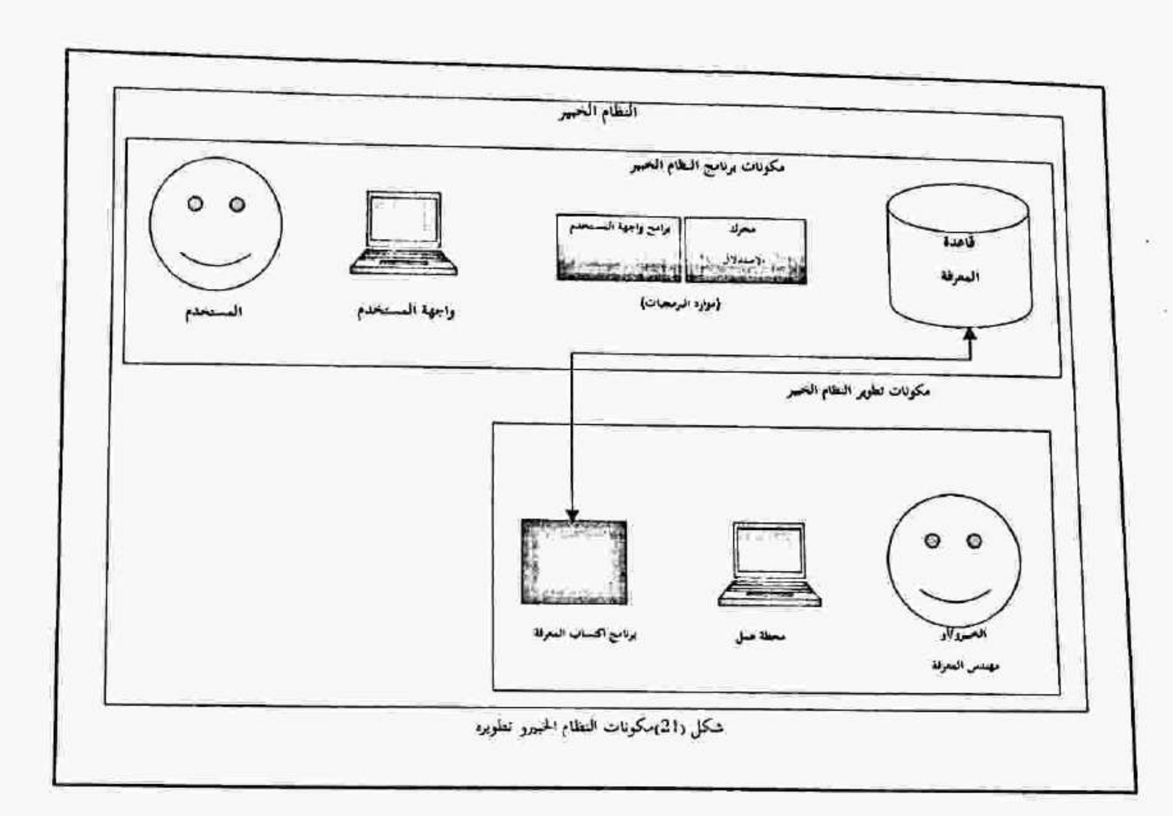
3. واجهة المستخدم Interface
أو نظام الحوار Dialog system

وهي من أهم مراحل النظام الخبير التي تصل بين المستخدم والحاسب والمواصفات المطلوبة لهذه الواجهة هي :

- أن تمكن المستخدم من صياغة أسئلته واستفساراته حول المشكلة بسهوله
- أن تقدم الحلول والتوصيات للمستخدم في صوره واضحة ووافيه


ويمكن توضيح مكونات النظام الخبير بالشكل التالي:
المخطط العام «
قاعدة المعرفة
ماكينة الاستدلال
واجهة المستخدم
المستخدم


المخطط التفصيلي :
قاعدة المعرفة Knowledge base
حقائق و قواعد
Facts and Rules
الذاكرة المؤقتة
Working Memory
ماكينة الاستدلال
Inference Engine
التحكم والاستنتاج
Control and inference
النظام الفرعي لبناء وتطوير المعرفه
نظام الاستفسار الفرعي
واجه المستخدم User
Interface
الخبير او مهندس المعرفه
Knowledge Engineer
المستخدم
User



شكل (21)مكونات النظام الخبيرو تطويره

خصائص النظام الخبير
Properties Expert System

مهما اختلفت النظم في الغرض الذي صممت من أجله إلا أن هناك بعض المواصفات التي تمنح النظام الخبير الجودة والذكاء وهي :

- ❖سهوله الاستخدام
- ❖أن يكون نافع في المجال الذي صمم من أجله
- ❖أن يكون قادر على التعليل وشرح الأسباب للتوصيات التي يقدمها
- ❖أن يكون سهل التعديل ، قابلاً لتحديث المعلومات أو الاضافة اليها أو إصلاح ما بها من عيوب

بناء النظم الخبيرة

عندما تقوم الشركات ببناء النظم الخبيرة عادة ما تسند العمل الى فريقين :

1. **مهندسوا المعرفه Knowledge Engineers**

مهندس المعرفه قد يكون مبرمج أو مهندس حاسب

2. **خبراء المجال Domain Experts**

خبير المجال هو شخص يتمتع بخبره في المجال الذي يعمل في النظام الخبير مثلا اذا كان النظام الخبير يختص بالتحليل النفسي فان خبير المجال هو الطبيب النفسي .

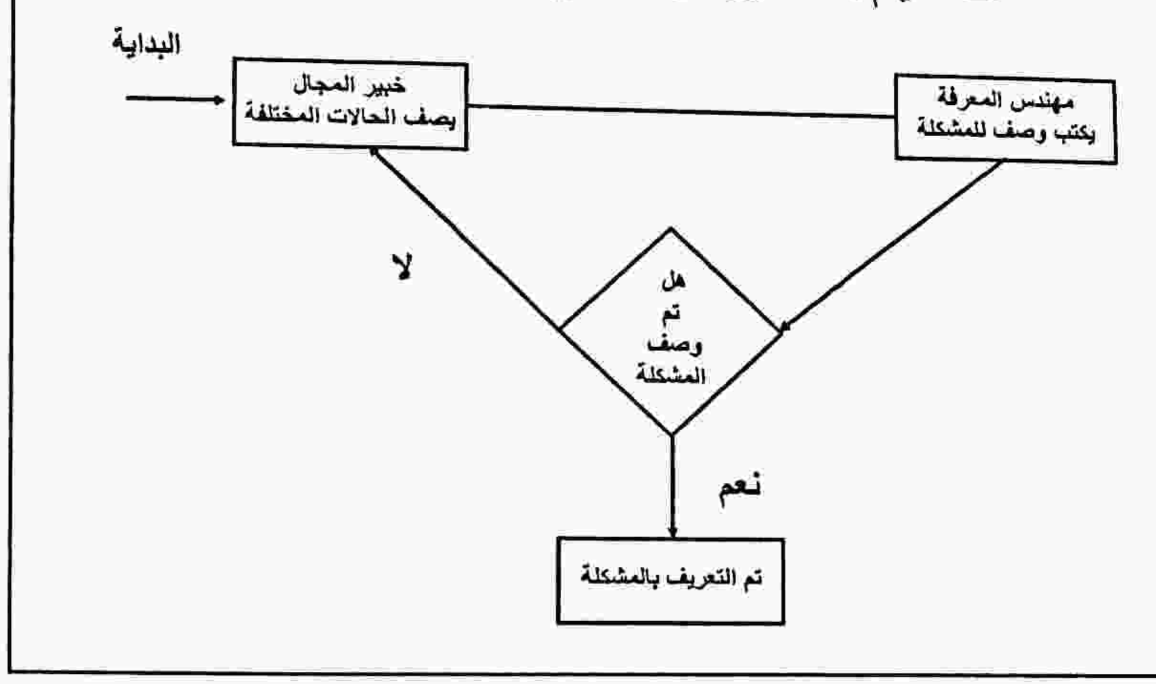
مراحل بناء النظام الخبير

يتم بناء النظام الخبير من خلال خمسه مراحل حيث يشترك خبير المجال مع مهندس المعرفه في المرحله الاولى والثانية أما المراحل الاخرى فهي خاصة بمهندس المعرفه. والمراحل هي:

1. **التعريف Identification**

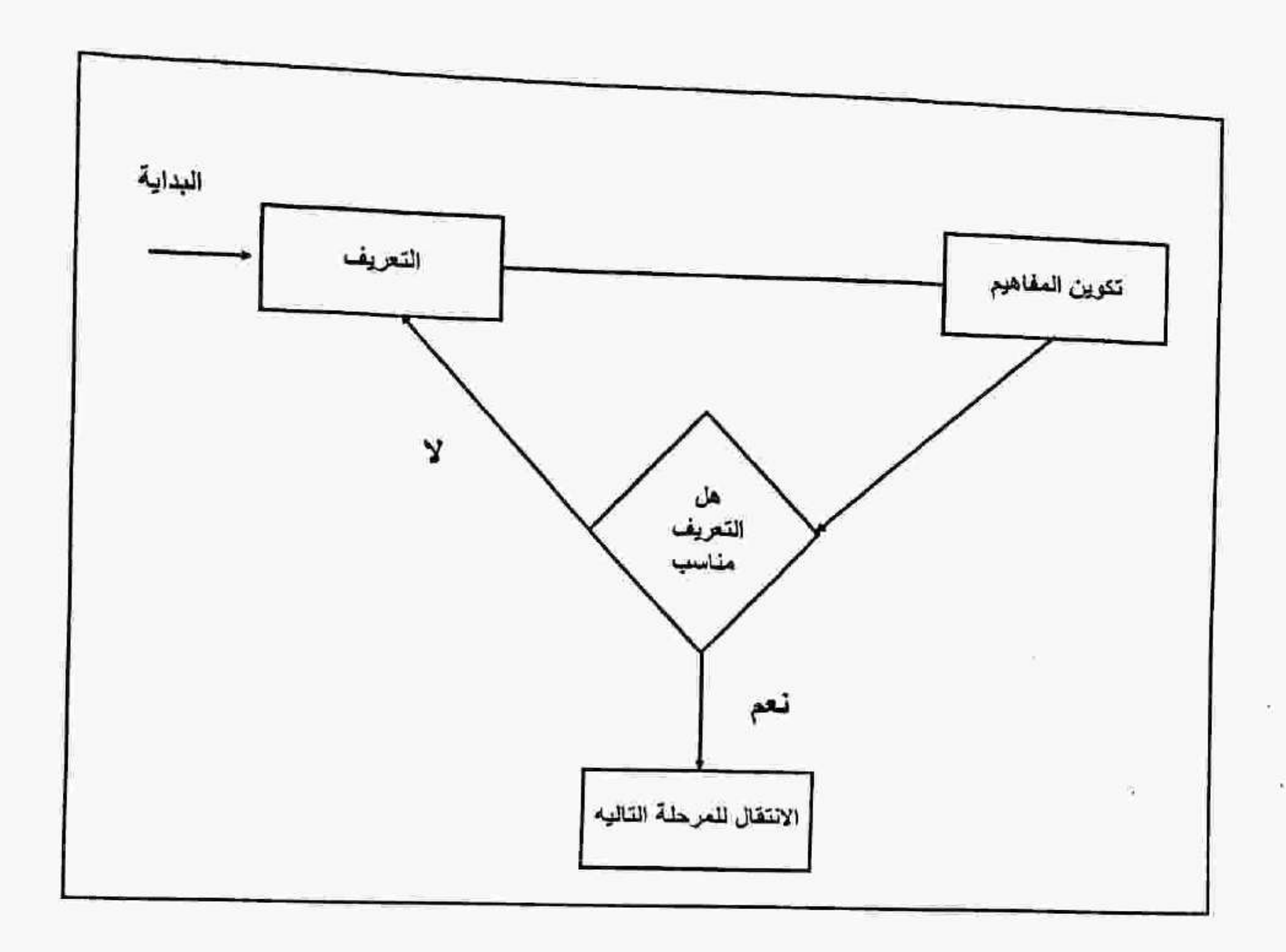
يقوم مهندس المعرفة بجمع أكبر قدر من المعلومات من خبير المجال حول المشكلة المعنية والتي قد يحتاج فيها مهندس المعرفة الي عقد عده جلسات مع خبير المجال حيث سيقوم خبير المجال بشرح معرفته في هذا الميدان والطرق التي يتبعها في حل المسائل.

وقد يقدم شرحه بطريقه غير منظمه لأنها ربما المرة الاولى التي يطلب منه القيام بذلك ويمكن توضيح ذلك بالشكل التالي



2. تكوين المفاهيم Conceptualization

في هذه المرحلة يتم تحليل المشكلة بدرجه أعمق وفيها يشترك خبير المجال مع مهندس المعرفة، حيث يسمح للخبير بإجراء مراجعات عديدة لما يريد أن يضمنه في البرنامج وإعطاء تفسيرات مطولة بنقاط معينة وإضافة معلومات جديدة، وقد يتم الاستعانة بخبراء آخرين للتعليق على المعلومات التي أعطيت بواسطة الخبير الأول ويمكن توضيح حلقه التعاون بين خبير المجال ومهندس المعرفة بالشكل التالي:



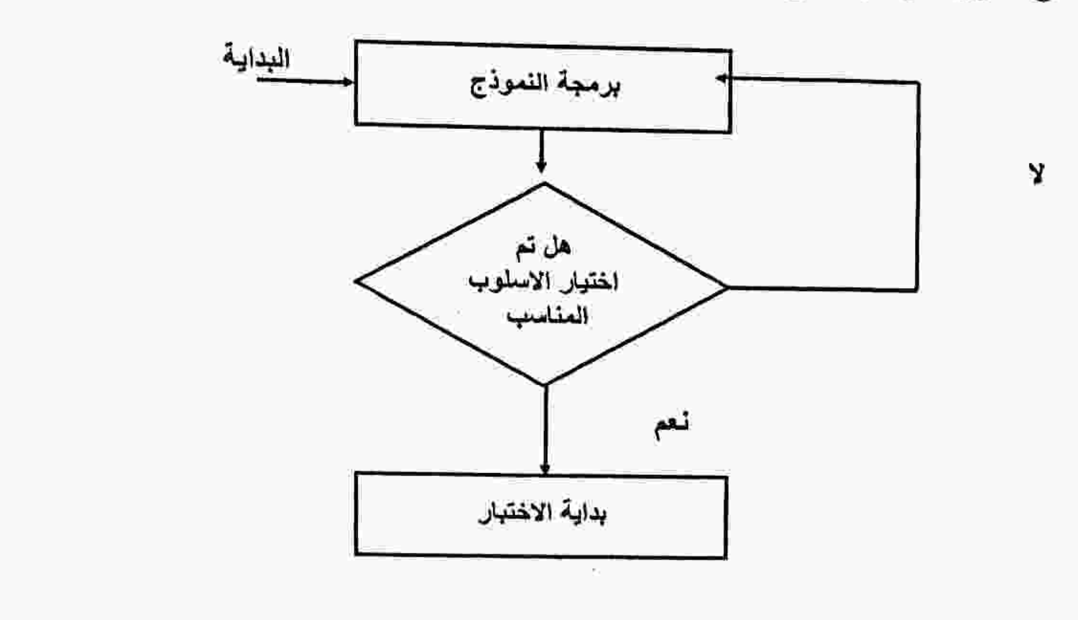
3- الصياغة Formalization

يتم في هذه المرحلة حل المشكلة باستخدام أساليب الذكاء الاصطناعي حيث يقوم مهندس المعرفة باختيار الأسلوب المناسب لتمثيل المعرفة للنظام الخبير .

4- التطبيق Implementation

في هذه المرحلة تتم برمجة المفاهيم التي تمت صياغتها باستخدام لغات الذكاء الاصطناعي لينتج عن ذلك النموذج الأول للنظام الخبير .

ويسمى بالنموذج الأول لأننا قد نقوم بهدم هذا النموذج وبناء نموذج جديد عندما تكون المعرفة غير مكتملة أو لم يتم اختيار الأسلوب المناسب لتمثيل المعرفة ويمكن توضيح هذه المرحلة بالمخطط التالي:



أهم مجالات التطبيق للنظم الخبيرة:-

تم تطبيق النظام الخبير في مجالات عديدة وأثبتت نجاحاً كبيراً في هذه المجالات واهم هذه المجالات الكيمياء والطب والجيولوجيا والزراعة ونظم الحاسبات والهندسة وإدارة المعلومات والقانون والرياضيات والأرصاد الجوية والشؤون العسكرية وتكنولوجيا الفضاء والتحكم في عمليات الإنتاج والتصنيع .

أول نظام تم تصميمه هو:
برنامج ديندرال DENDRAL الذي صمم في أوائل الستينيات (1965) ليعالج مسألة التركيب الكيميائي للمواد، وقد احتوى هذا البرنامج على قدر كبير من المعلومات الكيميائية المتخصصة وقد دفع نجاح هذا البرنامج إلى تطور النظم الخبيرة وانتشارها وصارت هناك شركات متخصصة لإنتاج الأنظمة الخبيرة بالإضافة إلى المؤسسات العالمية.

توضيح أشهر النظم الخبيرة بالجدول التالي

النظام الخبير	سنة الانتاج	مجال العمل للنظام
DENDRAL	1965م	التحاليل الكيميائيه
MAXIMA	1965م	مسائل الرياضيات
MYCIN	1972م	تشخيص امراض الدم
PROSPECTOR	1972م	اكتشاف المعادن
DIGITALS	1978م	التقنية الرقمية
XCAN	1982م	مواصفات الحاسبات
MAX	1992م	مشاكل شبكات الهاتف

الأشكال المختلفة للنظم الخبيرة
Different Forms of Expert Systems

النظم التي تعمل كمساعد : حيث يقوم النظام بمساعدة المستخدم في تحليل بعض الأعمال ، و من أمثلتها : النظم التي تقوم بقراءة الخرائط و الرسومات البيانية المختلفة .

النظم التي تعمل كزميل : إذ يسمح هذا النظام للمستخدم أن يناقش المشكلة مع النظام و يتلقى الإجابات فتكون النتيجة محصلة جهد مشترك للمستخدم و النظام معا .

النظم التي تعمل كخبير: يقدم النظام في هذه الحالة نصيحة جاهزة للمستخدم في الحالة التي تعرض عليه .

AI Languagesلغات الذكاء الاصطناعي

في مجال الذكاء الاصطناعي اشتهرت لغتان هما:

1-لغة lisp : وهي اختصار لـ list of processing وتعني معالجة القوائم والتي تم تصميمها عام 1984 في الولايات المتحدة وكان الغرض منها تحقيق الأغراض البرمجية للذكاء الاصطناعي.

2- لغة prolog :وهي اختصار لـ programming in logic وتعني البرمجة بالمنطق والتي تم تصميمها عام 1970 بجامعة مرسيليا بفرنسا بغرض برمجة المسائل المنطقية قبل ظهور علم الذكاء الاصطناعي:

مميزات وخصائص لغات الذكاء الاصطناعي

تمتاز لغات الذكاء الاصطناعي بخصائص تناسب طبيعة أنظمة الذكاء الاصطناعي والخصائص هي :

أ-قابلية تمثيل المعرفة Knowledge Representation:

ويقصد بها استخدام قواعد خاصة لوصف المعرفة (حقائق Facts،علاقات Relations، قواعد Rules، اطر Frames).

وهي التي تشكل قاعدة المعرفة Knowledge Base.

ب- معالجة الرموز والأشكال Symbolic Processing:

تمتاز لغات الذكاء الاصطناعي بإمكانية معالجة الرموز والأشكال.

ج- مرونة في التحكم Flexibility of Control:

تقوم بمعالجة المشكلة اللغات التقليدية مثل C وPascal من خلال تتبع تسلسلي لتعليمات البرنامج فهي دائما ما تكون عاجزة عن علاج مشاكل الذكاء الاصطناعي لذلك أتت لغات الذكاء الاصطناعي بإمكانية تحكم أكثر مرونة.

وبشكل عام:

تعتبر لغات الذكاء الاصطناعي أكثر كفاءة من اللغات التقليدية ونعني بالكفاءة زمن تنفيذ البرنامج وتقليل حجم التخزين في الذاكرة ولكن نحتاج الى مجهود من قبل المبرمج في تحديد كل الحقائق وربطها ببعضها البعض وتوجيهها لاستخلاص النتائج والأهداف المطلوبة.

استخدام لغة Turbo Prolog

مرت لغة Prolog بتطورات وإصدارات متعددة منها على سبيل المثال Sega-prolog
و swi-prolog وvisual-prolog بإصداراته المختلفة.
وعلى الرغم من أن Turbo Prolog قد لا تعتبر احدث الإصدارات إلا أننا سنتناول مدخلنا إلى لغة Prolog من خلالها وذلك لعدة أسباب هي:

1. لغة تحقق الجوانب العملية لشرح مفاهيم الذكاء الاصطناعي خاصة تمثيل المعرفة.
2. تمتاز بسرعة البرنامج في طور الإنتاج.
3. يمكن اعتبارها لغة قياسية standard language ،حيث يمكن من خلالها فهم الإصدارات الأخرى.

حيث نلاحظ أن الشاشة الرئيسية تحتوي على سبعة قوائم وأربعة نوافذ فرعية هي :

أ-نافذة كتابة البرنامج Editor window.
وهي النافذة التي يكتب فيها البرنامج
ب-نافذة الحوار Dialog Window.
وهي نافذة من خلالها يستطيع المستخدم أن يطرح أسئلته ويجد الإجابة عليها من خلالها
ج- نافذة رسائل النظام Message Window.
وهي نافذة إخراج لإخراج معلومات النظام لبيان ما تم فعلاً
د-نافذة تدقيق البرنامج Trace Window.
وهي نافذة تستخدم لتتبع البرنامج وبيان ما يقوم به برنامج Turbo Prolog

بعد كتابة البرنامج في نافذة كتابة البرنامج Editor نقوم بحفظه باختيار الأمر write to من قائمة Files ومن ثم تشغيله من قائمة Run.

الهيكل العام لبرنامج prolog :

يضم هيكل البرنامج جزئين هما:

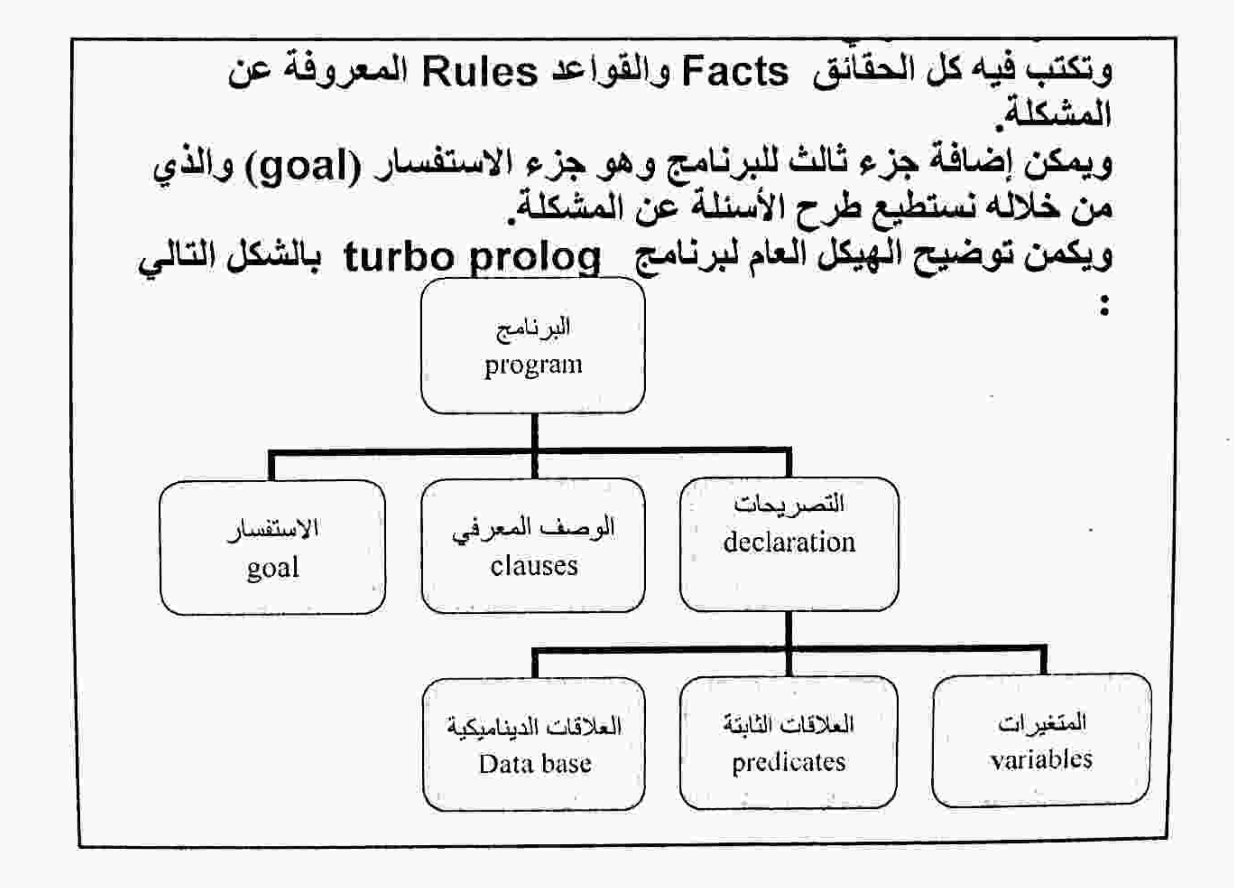
1-التصريحات declarations :

ويضم جزء التصريحات الحقول التالية والتي تميز كلا منها بواسطة كلمة مفتاحية:

الحــقــل	الكلمة المفتاحية
أ-حقل منفرد لتصريح أنواع المتغيرات	domains
ب-حقل شامل لتصريح مجاميع أنواع المتغيرات	global domains
ج-حقل منفرد لتصريح العلاقات الثابتة	predicates
د-حقل شامل لتصريح مجاميع العلاقات الثابتة	global predicates
هـ-حقل لتصريح العلاقات الديناميكية	data base

حيث يمكن استخدام بعضها أو كلها في برنامج واحد .

وتكتب فيه كل الحقائق Facts والقواعد Rules المعروفة عن المشكلة.
ويمكن إضافة جزء ثالث للبرنامج وهو جزء الاستفسار (goal) والذي من خلاله نستطيع طرح الأسئلة عن المشكلة.
ويكمن توضيح الهيكل العام لبرنامج turbo prolog بالشكل التالي :



1. التصريحات declaration:

التصريح عن المتغيرات ويتم في الحقل domains.

حيث أن الصيغة العامة للتصريح هي

. variable name = type

حيث variable name = اسم المتغير .

type= نوع المتغير.

وأنوع المتغيرات هي

1- عدد صحيح integer.

2- عدد حقيقي real.

3- حرف char.

4- حزمة حرفية (سلسلة نصية) sting .

5- كلمات رمزية symbol.

2-العلاقات:predicates

في هذا الحقل يتم التصريح عن العلاقات التي تشارك في وصف المشكلة

الصيغة العامة للتصريح عن العلاقة .

Predicate-name(p1,p2,.......,pn)

حيث

Predicate-name(اسم العلاقة)

(p1,p2,.......,pn)(المتغيرات التي تعتمد عليها)

الجزء الثاني

١ . إن النظم الخبيرة تمثل الخبرات الإنسانية في مجالات معينة وهي تساعد المتخصصين بصفة عامة، كما تساعد الناس الذين يتعذر عليهم إستشارة خبير في مشكلة ما.

٢ . تتكوّن قاعدة المعرفة للنظام الخبير من معارف إخبارية ومعارف منهجية، وقد تكون المعارف في صورة قواعد إنتاج.

٣ . تقوم ماكينة الاستدلال بالنظام الخبير بالتحكم في عمل النظام.

٤ . الوصلة البينية للمستخدم هي الصلة بين الإنسان والنظام الخبير وهي قد تستخدم اللغة الطبيعية لتسهيل الاتصال.

٥ . في مرحلة «التعريف» يقوم مهندس المعرفة بالتعاون مع خبير المجال لتحديد خصائص المشكلة.

٦ . في مرحلة «تكوّن المفاهيم» قد يتم إستخدام الرسومات للتعبير عن العلاقات المختلفة بين أجزاء المشكلة.

٧ . في مرحلة «الصياغة» يتم تحليل العلاقات المستنتجة في مرحلة تكوين المفاهيم بغرض توصيل المشكلة إلى الحل المقترح.

٨ . في مرحلة «التطبيق» يتم إنشاء نموذج مبدئي ويتم تقييمه.

٩ . في مرحلة «الاختبار» يتم تقييم النظام لتحديد ما إذا كان التطبيق سليماً.

١٠ . يُستخدم النظام الخبير من خلال الأسئلة والأجوبة، وهو نظام يسمح للكومبيوتر بأن يعلل ويشرح الأسباب.

١١ . النظام المبنى على النماذج يحتوي على نموذج لجهاز ما بحيث يسمح بتشخيص الأعطال من المبادىء الأولية.

الجزء الثاني

١. يتم توليد الكلام بالكومبيوتر بأحد طريقتين؛ إما باستخدام مجموعة من الكلمات السابق تخزينها على ذاكرة «روم» (speech ROM) وتسمى هذه الطريقة بالكلام الاصطناعي أو صناعة الكلام (speech synthesis)، وإما باستخدام مولدات الفونيمات (phoneme generators).

٢. تتميز الطريقة الأولى (الكلام الاصطناعي) بجودة الإلقاء ووضوح الكلمات ولكن يعيبها عدد الكلمات المحدود.

٣. تتميز االطريقة الثانية (مولدات الفونيمات) بإمكان توليد أي كلمة وبأية لغة، ولكن يعيبها عدم جودة النطق بمقارنتها بالطريقة الأولى.

٤. يعتبر التعرف على الكلام (speech Recognition) من موضوعات أبحاث الذكاء الاصطناعي وهو يهدف بصورة نهائية إلى منح الكومبيوتر القدرة على التعرف وفهم الكلام البشري.

٥. ينقسم التعرف على الكلام إلى إتجاهين في البحث هما التعرف المعتمد على المتكلم (Speaker - dependent Recognition) والتعرف غير المعتمد على المتكلم (Speaker - independent Recognition) والنوع الأول أكثر سهولة في الصناعة وأكثر إنتشاراً بين الأجهزة المستخدمة.

٦. يستطيع الكومبيوتر التعرف على الكلمات المنفصلة عن بعضها البعض باستخدام القوالب الكلامية (speech templates) التي يقوم المستخدم بتسجيلها في ذاكرة الكومبيوتر كمرجع للمقارنة في وقت سابق.

٧. يسهل على الكومبيوتر التعرف على الكلمات المنفصلة عن بعضها البعض أكثر من الكلمات المتصلة أو الحديث المستمر.

الجزء الثاني

منذ الكومبيوتر الأول الذي خرج إلى العالم في عام ١٩٤٣ حاملاً الاسم: Mark I، مكوناً من بعض المفاتيح الإليكترونية؛ وحتى عصرنا الحالي الذي بدأت فيه رحلة الجيل الخامس للكومبيوتر؛ منذ هذا الحين وحتى الآن فالنظرية الأساسية التي تقوم عليها تكنولوجيا الكومبيوتر لم تتغير. كل ما هناك أن إمكانات الصناعة قد تطورت فتطورت معها طرق التصنيع من المفاتيح الإليكترونية إلى الصمامات إلى الترانزستور إلى شرائح الدوائر المتكاملة ذات كثافة التجميع العالية جداً (VLSI). فبعد أن كان الكومبيوتر الأول يحتل فناءً واسعاً كأنه مصنع من المصانع أصبح الكومبيوتر الحالي الذي يؤدي نفس المهام في حجم الكف.

أما النظرية التي يقوم عليها الكومبيوتر فهي «معالجة الأرقام»، وبالتحديد الأرقام الثنائية باستخدام المنطق «البولياني» الذي قدمه جورج بول في القرن التاسع عشر.

وإذا كان الكومبيوتر يتعامل مع كافة البيانات الرقمية وغير الرقمية، لكن البيانات بكافة أنواعها تتحول إلى أرقام بداخل الكومبيوتر باستخدام وسائل التشفير المناسبة.

ومع ثورة الذكاء الاصطناعي فكر العلماء في أن يمنحوا الكومبيوتر قدرة جديدة تكسبة صفة الذكاء وهي القدرة على معالجة الرموز. ومع هذا التطوير فقد اختصّت بعض لغات الكومبيوتر بهذه الصفة؛ وتميّزت بين هذه اللغات لغة ليسب (LISP). وفي هذا الباب سوف نتعرف بالنظرية الجديدة لمعالجة الرموز كمدخل للغة البرمجة ليسب.

الجزء الثاني

هل حاولت مرة أن تتداعى وتترك العقل يتجول على سجيّته بين أرجاء الذاكرة؟ فلتجرب هذه المحاولة: لتحاول أن تتذكر أسماء زملائك في الفصل عندما كنت في المرحلة الأولى الابتدائية.

مهما كانت ذاكرتك قوية فلن تستطيع أن تتذكر الأسماء بحسب ترتيبها الأبجدي ولا بحسب ترتيب أصحابها في التفوق المدرسي. بل في أغلب الأحوال سوف تبدأ بإسم ما، يرتبط في العقل بذكرى قوية وليكن هو اسم الأول على الفصل.

ربما تتذكر اسمه، أو شكله، أو كليهما، وربما يقودك التشابه بين اسمه واسم زميل آخر إلى أن تتذكر هذا الزميل الآخر وشيئاً عن ملامحه أو مكانه في الجلوس في قاعة الدراسة وربما يكون هذا الزميل ذا نوادر طريفة مع الزملاء أو المدرسين تتذكر إحداها؛ ولعل خواطرك تقودك إلى تذكر مدرس معين في أحد المواقف الشهيرة مع هذا التلميذ. وقد تتساءل أين هو الآن هل أحيل إلى المعاش أم ما زال في وزارة التربية؟ وأين الأول على الفصل؟ ربما يكون قد هاجر إلى أوروبا أو أمريكا وهذا يجعلك تنتقل إلى موضوع جديد... وهو تذكر أسماء الزملاء الذين هاجروا سواء ممن زاملوك في المدرسة أو الجامعة.

الجزء الثاني

هـذا هو عقـل الإنسـان. . وطـريقتـه في استـرجـاع المعلومـات من الذاكرة. . .

إن عقل الإنسان يتعامل مـع الصور والـرموز والعـلاقات بين الأشيـاء والمعاني وهو ينتقـل من معنى إلى معنى ومن علاقـة إلى أخرى في تلقـائية وسلاسة. أما الكومبيـوتر الـرقمي فإذا طلبت منـه أن يسترجـع أسماء زمـلاء الفصل فسوف يطبعهم في كشف بحسب ترتيبهم الأبجدي أو أي ترتيب آخر بصرف النظر عن أي علاقات أخرى أو تأملات جانبية لأن الكومبيوتر لا يعرف حتى أنه يتعامل مع لائحة من أسماء الأشخاص.

وليس معنى ذلك أن عقل الإنسان لا يستطيع أن يحتفظ بالعلومات في صورة قوائم مرتبة كمـا يفعل الكـومبيوتـر، فنحن جميعاً نحفظ الأرقـام وفقاً لتسلسلها. ومنا أيضـاً من يحفظ آيات القـرآن الكريم مـرتبة في ذاكـرته من الفاتحة وحتى سورة الناس.

أما الصعوبة التي واجهتك عند محاولة تذكر أسماء زملاء الدراسة في الصف الأول الابتدائي فمرجعها إلى أنك لم تحاول حفظ كشف الأسماء كما تحفظ قصيـدة شعريـة من مقرر «النصـوص». وإنما كـانت أسماء زمـلائك تختزن في ذاكرتك وفقاً لعلاقتهم بك والمواقف الهامة التي تبرز أحدهم دون غيره، إذن فالاختلاف يرجع إلى طريقة التخزين في الذاكرة. فالعقل البشري يختزن المعلومات في صور شتى ووفقاً لاعتبارات متعددة أما الكومبيوتر فقد صمم أساساً للتعامل مع الأرقام، ولذلك فـإنه عنـدما يتعـامل مـع الحروف الأبجدية والاسماء فإنه يختزنها أيضاً في صورة أرقام باستخدام شفرة خاصة هي الكود (ASCII) أو الكود (EBCDIC).

لعلنا نعلم جميعاً أن أجهزة الكومبيوتر تتعامل بلغة الأرقام الثنائية المكونة من الصفر (0) والواحد (1) والتي يطلق عليها لغة الماكينة، وأن أية لغة نستخدمها خلاف ذلك يتم ترجمتها في النهاية إلى لغة الواحد والصفر، حتى يستطيع فهمها الكومبيوتر. ومع ذلك فاللغات المختلفة التي نستخدمها - والتي تسمى باللغات عالية المستوى - تختلف في خصائصها بحيث تصلح إحداها أكثر من غيرها لتطبيق بعينه. فلغة «فورتران» مثلاً تختص بالتطبيقات الرياضية والعلمية، وتختص لغة كوبول بالأغراض التجارية. ولا بأس من استخدام لغة فورتران للأغراض التجارية ولغة كوبول للأغراض العلمية ولكن كفاءة اللغة في هذه الحالة سوف تنخفض كثيراً عندما تستخدم في غير ما صممت من أجله.

واللغة التي تخدم الذكاء الاصطناعي هي اللغة القادرة على التعامل مع الرموز أو على معالجة الرموز. وقد كانت أول لغة تصمم خصيصاً لهذا الغرض هي لغة آي. بي. إل IPL وهي الحروف الأولى من العبارة:

(Information Processing Language)

بمعنى لغة معالجة المعلومات. وقد ابتكرها ثلاثة من الرواد في عام ١٩٥٦ هم:

ألين نيويل (Allen Newell)

ج. سي. شو (I. C. Show)

هربرت سيمون (Herbert Simon)

وقد تميزت لغة IPL بأنها قريبة من اللغات منخفضة المستوى (لغة الماكينة) ولذلك لم تكن سهلة الاستخدام ولذلك فقد جرى عليها عدة محاولات للتطوير، حتى انتهى الأمر بتقديم لغة ليسب (LISP) كلغة من اللغات عالية المستوى.

وقد قدمت لغة IPL خصائص جديدة للغات البرمجة منها خاصية الارتباط (association) بين الرموز المختلفة المختزنة في ذاكرة الكومبيوتر تماماً كما يربط العقل بين محتويات ذاكرته. أما الطريقة التي استخدمت لتمثيل الارتباط بين الرموز فهي طريقة القوائم لتمثيل البيانات.

الجزء الثاني

تعتبر القوائم هي أحد طرق تمثيل البيانات وهو تتوفر ببعض اللغات دون البعض الآخر. ولكن اللغات الموجهة للذكاء الاصطناعي تعتمد على تمثيل البيانات في صورة قوائم بصفة أساسية. ولقد اشتق اسم لغة ليسب من العبارة «LIST Processor» بمعنى معالج القوائم.

فما هي القائمة؟

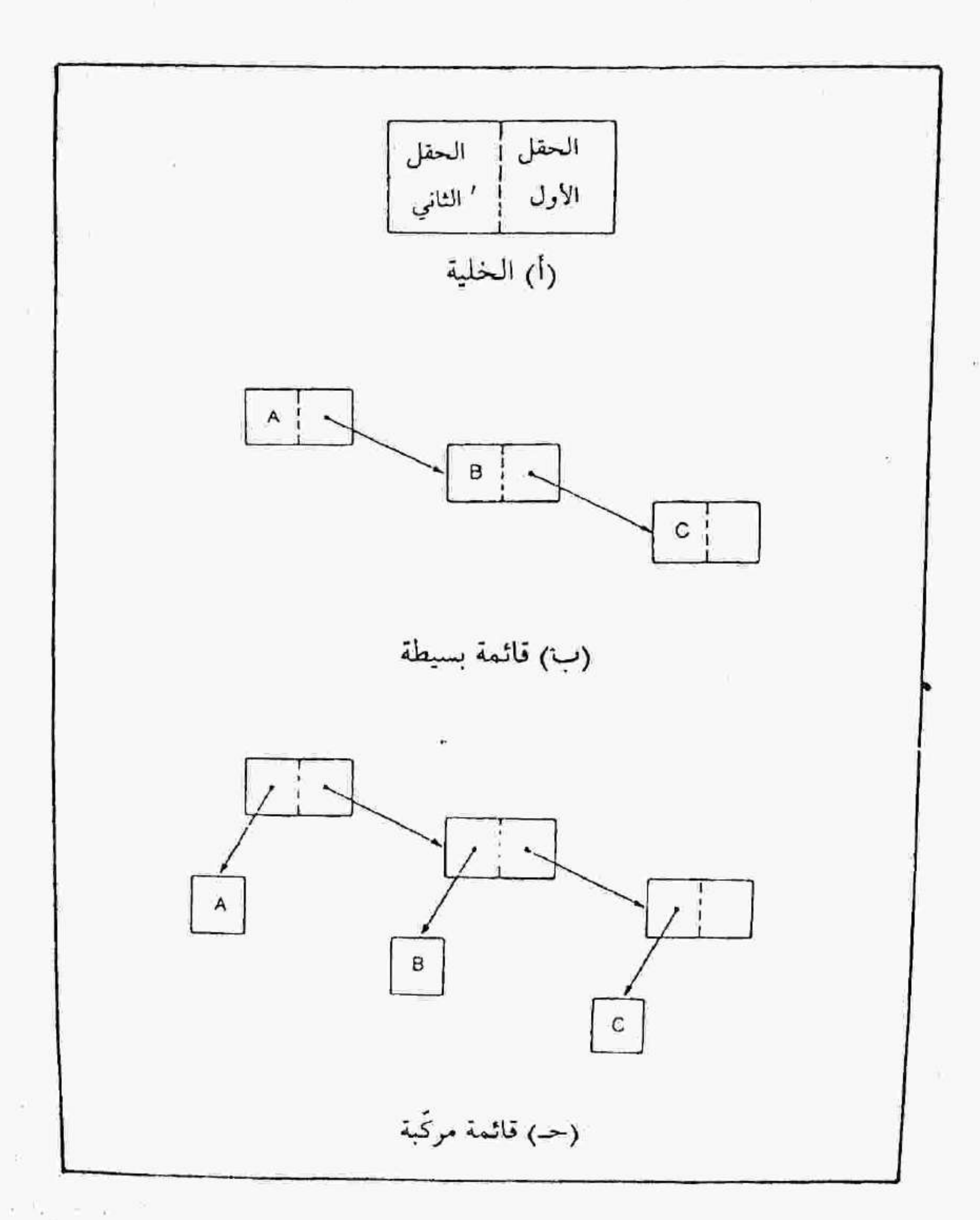
يمكن تمثيل القائمة في أبسط صورها بمجموعة من **الخلايا** (cells) تتكون كل خلية منها من جزئين أو حقلين (**fields**). ويحتوي أحد الحقول على رمز من الرموز أما الحقل الآخر فيحتوي على مؤشر (pointer) يشير إلى الخلية التالية. انظر شكل (٦ - ٢) أ، ب.

وفي الصورة المركبة للقائمة (كما هو الحال في لغة ليسب) فإن كل خلية يمكن أن تشير إلى الخلية التالية وإلى رمز من الرموز (فيما عدا الخلية الأخيرة) كما في شكل (٦ - ٢) حـ.

ولأن كل خلية تشير إلى الخلية التالية فإن هذا لا يستدعي حفظ القائمة في خانات متتابعة في الذاكرة كما هو الحال مع المصفوفات (arrays). بل إن خلايا القائمة قد تكون مبعثرة هنا وهناك في ذاكرة الكومبيوتر، ولكنها مع ذلك تظل مرتبطة مع بعضها البعض بفضل المؤشرات الموجودة بكل خلية.

الجزء الثاني

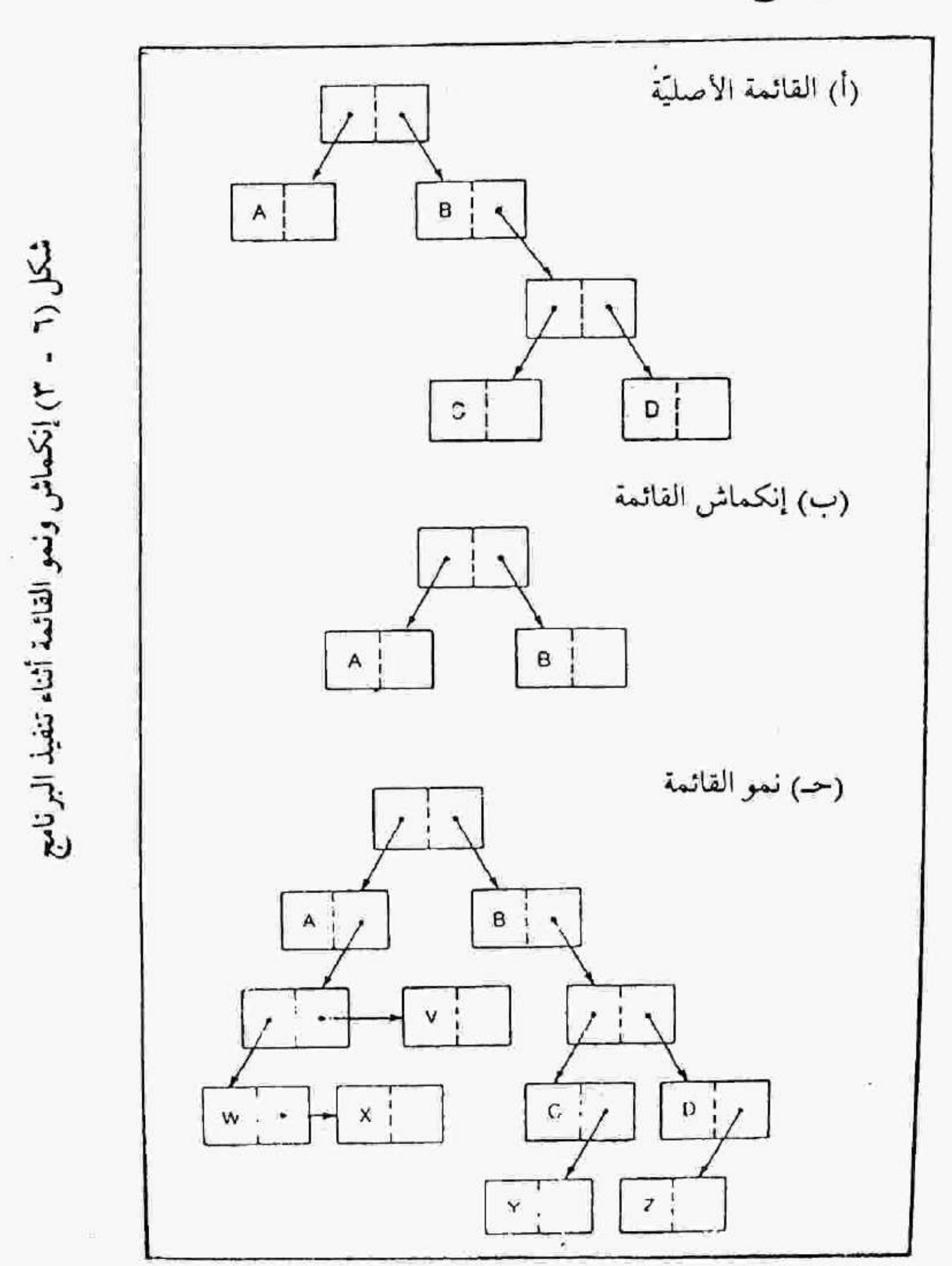
كما تتفوق القوائم كصورة من صور تمثيل البيانات على غيرها من الصور بأنها لا تتطلب تحديداً مسبقاً لحجم البيانات قبل تنفيذ البرنامج . فالقائمة منشأ ديناميكي للبيانات قابل للانكماش وللتمدد أثناء تنفيذ البرنامج .



شكل (٦ - ٢) تمثيل القوائم بالخلايا والمؤشرات

الجزء الثاني

فإذا كنت تستخدم منشأ للبيانات مثل «المصفوفات» فإنه لا بد من تحديد نوع وحجم البيانات مقدماً حتى يقوم الكومبيوتر بتخصيص المكان المناسب لها في الذاكرة. ليس هذا هو الحل مع القوائم فكما نرى في شكل (٦ - ٣) أن القائمة (أ) يجوز أن تنكمش كما في (ب) أو تنمو كما في (حـ) أثناء تنفيذ البرنامج.



شكل (٦ - ٣) إنكماش ونمو القائمة أثناء تنفيذ البرنامج

في عام ١٩٥٨ قام جون ماك كارثي (John McCarthy) بتصميم برنامج «ذكي» أطلق عليه الاسم «advice taker» لكنه لم يتمكن من تنفيذ هذا البرنامج باستخدام إحدى لغات الكومبيوتر المعروفة في ذلك الوقت، فقام بتصميم لغة «ليسب» خصيصاً لهذا الغرض. ورغم أن برنامجه الذكي لم يكتب له التوفيق حتى الآن، لكن لغة ليسب صارت هي اللغة الأولى في مجال الذكاء الاصطناعي. وقد اعتمدت لغة ليسب الأصلية على القوائم كمنشأ للبيانات ثم أضيفت إليها مع الوقت ملامح جديدة زادت من نفعها في مجال الذكاء الاصطناعي. وفيما يلي نقدم أهم ملامح اللغة:

(٦ - ٤ - ١) خاصية التواتر (Recursion)

عرفنا أن عنصر القائمة يشير دائماً إلى عنصر آخر، ومن الجائز أن يشير إلى قائمة أخرى. وفي هذه الحالة فإن القائمة تصبح سلسلة من القوائم التي تستدعي بعضها البعض. ويقال لمنشأ البيانات الذي يستدعي نفسه بنفسه أنه منشأ متواتر (recursive).

ولا تقتصر خاصية التواتر على البيانات فقط بل تمتد إلى تكنيكات البرمجة أيضاً بمعنى أن البرامج الفرعية أو الروتينات يمكنها أن تستدعي

نفسها بنفسها أيضاً، وهي خاصية تتوفر لقلة من لغات الكومبيوتر. والمثال الأتي يوضح كيف تتواتر تكنيكات البرمجة.

فلحساب مضروب عددٍ ما وليكن هو العدد 3 فإننا نعتمد على الحقيقتين الآتيتين:

١ - أن مضروب العدد 1 هو 1.

٢ - أن مضروب أي عدد صحيح أكبر من الواحد هو عبارة عن هذا العدد مضروب في مضروب العدد الصحيح الأصغر منه مباشرة.

أي أننا لكي نحسب مضروب أي عدد لا بد أن نحسب مضروب العدد الأصغر منه مباشرة ولكي نحسب مضروب هذا العدد الأخير لا بد أن نحسب مضروب العدد الأصغر منه. . . وهكذا حتى نصل إلى مضروب الواحد الصحيح فتنتهي العملية.

وهذا هو المثال بالأرقام:

لحساب مضروب العدد 3 فإننا نجري العملية:

$$3! = 3 \times 2!$$

ولأن العملية تتضمن مضروب العدد 2 فلا بد أن نجري العملية التالية أولاً:

$$2! = 2 \times 1!$$

أما مضروب العدد 1 فهو يساوي 1 بالتعريف. لذلك فإننا يمكن أن نبدأ بالتعويض من نهاية العملية حتى نصل إلى بدايتها كالآتي:

$$\begin{aligned} 2! &= 2 = 1! \\ &= 2 \times 1 \\ &= 2 \end{aligned}$$

وبالتعويض عن مضروب 2 نحصل على :

$$3! = 3 = 2!$$
$$= 3 \times 2$$
$$= 6$$

هذا المنطق الذي يستدعي نفسه بنفسه يسمى المنطق المتواتر وهي عملية تشبه الحيّة التي تبتلع ذيلها!

ولا تتوفر هذه الخاصية بكل لغات الكومبيوتر بمعنى أنك مع هذه اللغات الأخرى لا يمكنك استخدام المنطق السابق لحساب مضروب عدد ما.

(٦ - ٤ - ٢) البرامج والبيانات وجهان لعملة واحدة

يتميز البرنامج المكتوب بلغة ليسب بأنه عبارة عن قائمة!

هذا يعني أنه لا فرق بين البرامج والبيانات!

بل يعني أكثر من ذلك أن البرنامج يمكن أن يستخدم كقائمة من البيانات بواسطة برنامج آخر أو حتى بواسطة نفسه

إنها خاصية فريدة لم نشهدها مع لغة أخرى من لغات الكومبيوتر. فما هي الفائدة التي تحققها هذه الخاصية في مجال الذكاء الاصطناعي؟

أولاً: بهذه الخاصية يمكن تحقيق التكامل بين المعلومات الاخبارية (dec-larative knowledge) وبين المعلومات المنهجية (procedural knowledge).

ثانياً: يمكن بواسطة هذه الخاصية أن يقوم البرنامج بتعديل نفسه بنفسه بإضافة بعض الأجزاء أو حذفها، بل يصبح في الإمكان أن يخلق البرنامج برنامجاً آخر.

ثالثاً: يستطيع البرنامج أن يحتفظ بمسيّر للتنفيذ يسجّل فيه التعليمات التي تم تنفيذها والترتيب الذي نفذت به. وباستخدام هذا المسيّر يستطيع النظام الخبير أن يشرح لنا كيف توصّل إلى نتيجة معينة!

(٦ - ٤ - ٣) الترجمة الفورية لبرنامج ليسب

نحن نعرف أن هناك نوعان من الترجمة: الترجمة التجميعية (compilation) والترجمة الفورية (interpretation). ومن استخدام لغة بيسك من قبل لا شك أنه يعرف أنها - غالباً - ما تترجم ترجمة فورية، سطراً بسطر إلى لغة الماكينة أثناء تنفيذ البرنامج. والترجمة الفورية تؤدي إلى بطء تنفيذ البرنامج بمقارنتها بالترجمة التجميعية التي يتم فيها ترجمة البرنامج مرة واحدة إلى لغة الماكينة قبل التنفيذ. ورغم أن عملية الترجمة التجميعية تستغرق وقتاً طويلاً لكنها في النهاية تؤدي إلى سرعة تنفيذ البرنامج.

ومع ذلك ففي مجال الذكاء الاصطناعي فإننا نحتاج إلى الترجمة الفورية لأن عملية تطوير البرنامج نفسها لا تتبع منطقاً مؤكداً بل تخضع للتجربة والخطأ. بالترجمة الفورية تتيح نوعاً من «المحادثة» بين المبرمج والمترجم.

ومع ذلك فبعد تمام إنشاء البرنامج والتأكد من صحته يمكن إستخدام المترجم التجميعي للغة ليسب لتنفيذ البرنامج بسرعة؛ فهو متوفر أيضاً.

والبرنامج المكتوب بلغة ليسب برنامج متحدّث ليس فقط أثناء الترجمة بل أثناء التنفيذ أيضاً، وهي خاصية تجعل البرنامج يستطيع الحصول على المزيد من المعلومات اللازمة لحل المشكلة أثناء التنفيذ.

(٦ - ٤ - ٤) إمكانات المترجم ليسب

لأن لغة ليسب لغة قديمة المنشأ فقد أضيفت إليها الكثير من الوسائل والإمكانات التي تسهل عملية تطوير البرامج بخلاف لغات الذكاء الاصطناعي الأخرى. وهذه الامكانات تشمل:

- برامج التحرير (text editor) التي تستخدم لإدخال سطور البرنامج إلى ذاكرة الكومبيوتر.
- برامج الاصلاح (debuggers) التي تستخدم في كشف أخطاء البرنامج وإصلاحها.
- النوافذ (windows) التي تستخدم لعرض الأجزاء المختلفة للبرنامج على الشاشة في نفس الوقت.

إن الأحجار الأساسية التي تبنى منها لغـة ليسب هي الذرات (atoms) ومن الـذرات تُبنى القـوائم، ومن القـوائم والـذرات تُبنى التعبيـرات (expressions) ومن التغيـرات تتكون المنـاهج (Procedures) التي تشترك مع البيانات في تكوين البرنامج، ولنتحدث بالتفصيل:

(٦ - ٥ - ١) الذرات (atoms)

تعتبر الذرة هي أصغر مكونات لغة ليسب. وقد تحتوي الذرة على عدد أو رمز من الرموز. والمثال الآتي يعرض أمثلة لبعض هذه الذرات:

● ذرات عددية:

12
3.14
.00144

● ذرات رمزية:

+
★
IBN_SINA_BOOKSHOP
INTELLIGENCE

(٦ - ٥ - ٢) القوائم (Lists)

تتكون القائمة من سلسلة من الذرات أو القوائم محتواة بين قوسين كالأمثلة الآتية:

(+ 5 1234)
(21 BOOKS IBN_SINA_BOOKSHOP)
(ANIMALS (HERBIVORS (COWS SHEEP) CARNIVORS (LION TIGER))

فلنتحدث عن أهم ملامح هذه القوائم.

فالقائمة الأولى تحتوي على عناصر ثلاثة الأول هو ذرة رمزية (+) والعنصران الثاني والثالث ذرات عددية.

والقائمة الثانية تحتوي على ثلاثة عناصر أيضاً. ونلاحظ فصل كل عنصر عن الآخر بمسافة خالية.

فإذا انتقلنا إلى القائمة الثالثة فسوف نجد أنها قائمة مركبة أي أن بعض عناصرها عبارة عن قوائم. فهي تتكون أساساً من:

- الذرة: ANIMALS
- القائمة:

(HERBIVORS (COWS SHEEP) CARNIVORS (LION TIGER)

وهذه القائمة تشمل بداخلها ذرات وقوائم فهي تحتوي على:

- الذرة HERBIVORS بمعنى الحيوانات آكلة الأعشاب.
- والقائمة (COWS SHEEP) وهي قائمة الأبقار والأغنام.
- الذرة CARNIVORS بمعنى الحيوانات آكلة اللحوم.
- والقائمة (LION TIGER) وهي قائمة الأسد والنمر.

وكما نرى أن القائمة تحتوي على عناصر مرتبة ترتيباً موضوعياً، فالقائمة الأخيرة تشمل تقسيماً لأنواع الحيوانات وأمثلة لكل نوع. وعادة يطلق على القوائم والذرات معاً مصطلح التعبيرات الرمزية (symbolic expressions) أو - اختصاراً - التعبيرات (expressions).

(٦ - ٥ - ٣) المناهج (Procedures)

يتكون البرنامج المكتوب بلغة ليسب من مجموعة من المناهج (procedures) التي تصف تعليمات تنفيذ العمل المطلوب. ولذلك قد تسمى المناهج أيضاً باسم البرامج الفرعية أو الروتينات.

وعادة يكون المنهج هو أحد العناصر القائمة ويأتي في مقدمتها كما سنرى. وقد يكون المنهج موجوداً أصلاً باللغة وقد يكون مبتكراً بواسطة المبرمج.

فإذا كان المنهج من النوع الأول فيطلق عليه اسم «المنهج الأوّلي» (primitive)، وأما النوع الآخر فيسمى المنهج المبتكر.

والآتي يعد مثال للمنهج الأولى لجمع الأعداد (+):

```
(+ 3 5)
```

فكما نرى أن العلامة (+) التي تمثل منهج الجمع تأتي في مقدمة القائمة جنباً إلى جنب مع الأعداد المطلوب جمعها. ولذلك فالتعبير السابق يتم تقييمه بالعدد 8 وهو حاصل الجمع 5 +3.

فلنر مثالاً للمنهج المبتكر، ولنعتبر مثال حساب مضروب العدد N الذي عرضناه من قبل.

```
(DEFUN FACTORIAL (N)
(COND ((-N 1) 1)
(T (*N (FACTORIAL (-N 1))))))
```

وكما نرى فإن هذا التعبير يبدأ بكلمة DEFUN وهي إختصار العبارة DEfine FUNction بمعنى «عرّف الدالة الآتية». . .

ويلي هذه الكلمة اسم المنهج المراد تعريفه وهو FACTORIAL (N) . وبصرف النظر عن منطق التعريف الذي جاء بهذا التعبير، فإنه بموجب تعريف مترجم لغة ليسب بالمنهج الجديد فإنه يستطيع التعرف عليه متى صادفه بعد ذلك. فإذا كتبنا التعبير الآتي ضمن البرنامج :

(FACTORIAL 5)

فإنه يستطيع تقييم هذا التعبير بالاستعانة بالمنهج المبتكر السابق تعريفه والخروج بالنتيجة المطلوب وهي العدد 120 .

(٦ - ٥ - ٤) مناهج معالجة الرموز

تتضمن لغة ليسب العديد من المناهج الأولية المخصصة للتعامل مع الرموز وفيما يلي سوف نعرض الأمثلة التي نتعرف بها على طريقة التعامل مع الرموز.

● **اختيار العنصر الأول (CAR)**

يستخدم المنهج الأولي CAR للبحث عن أول عنصر في القائمة كما في المثال الآتي :

(CAR ' (A B C)

يتم تقييم هذا التعبير بالقيمة A وهو أول عنصر في القائمة (A B C) وقد يكون العنصر المطلوب عبارة عن قائمة كما في المثال الآتي :

(CAR ' ((A B) C))

. . نتيجة تقييم التعبير الأخير هي القائمة (A°B) لأنها هي العنصر الأول في القائمة التي جاءت بعد المنهج الأولي CAR .

كما يجوز استخدام المنهج الأولي ليؤثر على منهج أولي آخر وفي هذه الحالة يصبح التعبير مكوّناً من تعبيرات متداخلة (nested) كالمثال الآتي :

(CAR (CAR ' ((A B) C)))

وعند تقييم مثل هذا التعبير فإننا نبدأ بالأقواس الداخلية ثم الخارجية كالآتي :

١ ـ القائمة الداخلية التالية للمنهج CAR هي :

(CAR ' ((A B) C))

هذه القائمة مماثلة للقائمة الواردة في المثال الثاني، ولذلك فإنه عند تقييمها تسفر عن (A B) .

٢ ـ عند التعويض في التعبير الأصلي بالقيمة (A B) يصبح :

(CAR ' (A B))

وهذا التعبير يسفر عن القيمة A .

● اختيار كل العناصر ما عدا الأول (CDR)

أما المنهج الأولي CDR فهو المنهج المقابل للمنهج CAR حيث أنه يستخرج من القائمة كل العناصر فيما عدا العنصر الأول كالأمثلة الآتية :

(CDR ' (A B C))

قيمة هذا التعبير هي (B C) أي القائمة التي تضم كل العناصر فيما عدا العنصر الأول (A) .

(CDR ' ((A B) C))

أما قيمة هذا التعبير فهي (C) لأن العنصر الأول في القائمة هو (A B) .

ويجوز ان يجتمع أكثر من منهج أولي في تعبير واحد كالمثال التالي :

(CDR (CAR ' ((A B) C)))

وعند معالجة هذا التعبير نبدأ بتقييم التعبير الداخلي CAR الذي يسفر عن (A B) ثم التعبير الخارجي CDR الذي يسفر عن (B).

● **التخصيص (SET)**

أما المنهج الأولي SET فيستخدم لتخصيص قيمة ما لأحد الرموز كالمثال الآتي:

```
(SET X ' A)
```

يقول هذا التعبير: خصص القيمة A للرمز X وبموجب هذا التعبير فإن الرمز X أصبح محتوياً على القيمة A.

وهذا مثال آخر:

```
(SET SIGNS ' (STOP SLOW)
```

في هذا التعبير قد خصصنا القائمة (STOP SLOW) لرمز إشارات المرور SIGNS.

فلنر المثال الثالث:

```
(SET JIM (CAR ' (A B C)))
```

أما مع هذا التعبير فلا يفوتنا أن العملية CAR يجب أن تُنفّذ أولاً لانتخاب العنصر الأول في القائمة، يلي ذلك تخصيص هذا العنصر للرمز JIM.

إضافة عنصر جديد إلى قائمة (CONS)

يستخدم المنهج الأولي CONS في حالة إذا ما أردنا إضافة عنصر إلى بداية قائمة كالمثال الآتي:

```
(CONS ' A '(B C))
```

بموجب هذا التعبير يضاف العنصر A إلى القائمة (B C) فتصبح القائمة الجديدة هي (A B C)وهذا مثال آخر:

(CONS '(A B) '(C D))

بموجب هذا التعبير تضاف القائمة (A B) كعنصر أول إلى القائمة (C D) فتصبح القائمة الجديدة هي:

((A B) C D)

ولنفرض الآن أننا نرغب في إضافة علامة مرور جديدة إلى القائمة SIGNS التي عرضناها في مثال سابق، يمكننا في هذه الحالة أن نكتب التعبير:

(CONS ' YIELD SIGNS)

عند تقييم مثل هذا التعبير فإن العنصر الجديد YIELD ينضم إلى بداية القائمة SIGNS التي سبق أن خصصنا لها العنصرين:

(STOP SLOW)

وبذلك تصبح القائمة الجديدة هي:

(YIELD STOP SLOW)